Energy, Mines and Resources Canada | Énergie, Mines et Ressources Canada

Minerals | Minéraux

Mineral Policy Sector Internal Report
MRI 84/5

SULPHUR MARKET PROFILE

by

B.W. Boyd
Industrial Mineral Division

December 14, 1983

Catalogue No. M35-2/84-5
ISBN: 0-662-53384-4

FOREWORD

Sulphuric acid is by far the largest volume chemical commodity produced and has been an important part of commerce for at least 250 years. Sulphuric acid has been recovered from pyrite and other metal sulphides longer than that and these are still sources where the costs of production and transport are low enough to be competitive with other sources of acid. As early as 1930, in Canada, another factor came into play when the requirement to avoid environmental damage, by limiting sulphur dioxide emissions, led to the construction of a sulphuric acid plant at the Consolidated Mining and Smelting Company of Canada (Limited) (later Cominco Ltd.) smelter at Trail, British Columbia. The containment of sulphur dioxide from smelters for environmental reasons has been an increasingly important issue since then.

Elemental sulphur has been recovered at sour natural gas plants in Canada since 1952, to prevent corrosion of pipelines by the hydrogen sulphide in the sour gas. The exigency of recovering as much as 99 per cent of the sulphur in the sour gas came about later for environmental reasons.

In the last 50 years, the valuation of sulphur and sulphur compounds as a resource to be exploited for financial gain has been relegated to the background as the level of production has been dictated by the rates of production of sour natural gas, nickel, copper, lead and zinc and restrictions on sulphur dioxide emissions.

"Sulphur enters into the manufacture or processing of nearly every industrial product. In the initial stage of consumption, sulphur is generally converted into a secondary product, the most common being sulphuric acid. This sulphur, in the form of acid, element, or sulphite, is consumed by the end-use industry. In the final step, the products of these industries contribute, in turn, the countless other articles such as foodstuffs, soaps and detergents, clothing, gasoline and lubricants, automobiles and aeroplanes, construction materials, tires and tubes. The list of end products could be expanded to include almost everything we eat, wear, or use." - T.H. Janes

TABLE OF CONTENTS

	Page
INTRODUCTION	
Purpose and Scope of the Study	1
Exploitation of Sulphur	1
Compounds of Sulphur	1
WORLD INDUSTRY STRUCTURE	3
Production	3
Consumption	3
Trade	3
NORTH AMERICA	9
Canada	9
United States	11
Mexico	12
Intracontinental Movement of Sulphur	12
FORECAST SULPHUR DEMAND	14
Canada	14
Canadian Demand	18
United States	19
United States Demand	20
FORECAST SULPHUR PRODUCTION	21
Canada	21
United States	23
NORTH AMERICAN SULPHUR BALANCE	23
WORLD SULPHUR BALANCE	24
CANADIAN ELEMENTAL SULPHUR IN INTERNATIONAL TRADE	25
Canada's Role in the Marketplace	25
Issues and Opportunities	26
SULPHUR DIOXIDE CONTROL	29
Economics of Sulphur Dioxide Recovery	30
Byproducts	31
Research and Development	31

CONTENTS (cont'd)

		Page
APPENDIX		
I	BACKGROUND ON SULPHUR AND SULPHUR COMPOUNDS	33
	Frasch Process	34
	The Canadian Sulphur Industry	34
	Metallic Sulphide Sources	38
	Smelter Gases	40
	Consumption	41
II	FORECASTING PARAMETERS	42
	Canadian Production	42
	United States Production	42
	Sulphur Balance	43

TABLES

1.	World Production of Sulphur In-All-Forms	4
2.	World Consumption of Sulphur In-All-Forms	6
3.	Brimstone Exports by Major Suppliers	8
4.	Cansulex Limited, Member Companies	11
5.	Canada, Forecast Demand Sulphur All-Forms, 1984-91 High Case	18
6.	Canada, Forecast Demand Sulphur All-Forms, 1984-91 Low Case	18
7.	United States, Forecast Demand Sulphur All-Forms, 1984-91	19
8.	Projected United States Sulphur Demand in 2000 . . .	20
9.	Canada, Production of Sulphur from Natural Gas, 1984-91	22
10.	Canada, Production of Sulphur and Sulphuric Acid, 1984-91	22

TABLES (cont'd)

		Page
11.	United States, Production of Sulphur and Sulphuric Acid, 1984-91	23
12.	Canada, Production Surplus, 1984-91	23
13.	United States, Net Demand and Canadian Sulphur Availability, 1981-91	24
14.	Canada, Sour Gas Sulphur Extraction Plants, 1982 . .	35
15.	Canadian Refinery Sulphur Capacities, 1982	36
16.	Sulphur Forming Facilities in Western Canada	39

FIGURES

		Page
1.	Compounds of Sulphur	2
2.	Consumption of Sulphur In-All-Forms 1981	5
3.	Sulphur All-Forms Supply/End Use Relationship, 1982	10
4.	Sulphur Sulphuric Acid Supply and End Use Relationship, 1982	13
5.	Canadian Exported Sulphur Distribution Average 1975-78 the United States of America	15
6.	Canadian Exported Sulphur Distribution 1979 the United States of America	16
7.	Canadian Exported Sulphur Distribution 1980 the United States of America	17
8.	Canadian Elemental Sulphur 1960-90	26

INTRODUCTION

Purpose and Scope of the Study

In the medium and long-term there will be periods of oversupply for sulphur in-all-forms during which byproduct producers will not be able to recover their costs of production. There will also be periods of tight supply when profit will be made on the sale of byproduct sulphur and sulphuric acid. In both situations, higher prices for the byproducts will encourage the industries to recover rather than emit or dump the sulphurous material. Governments should consider the value of elemental sulphur, sulphuric acid and other sulphur based byproducts as a prerequisite for successful action on environmental regulation.

The purpose of this study is to serve as a source of information on Canadian sulphur in the world context.

Exploitation of Sulphur

Occurrences of workable deposits of sulphur, in elemental and combined forms, are distributed throughout the world. It is difficult to measure sulphur in terms of reserves but it is generally accepted that total world resources are 1,000 to 10,000 times current annual consumption. One-third of the world's sulphur output is recovered from deposits of native sulphur and close to another third is recovered as elemental sulphur from conversion of hydrogen sulphide removed from natural gas and oil. The remainder is recovered from sulphur dioxide gas produced in the roasting of pyrite and smelting of various metal sulphide ores. The sulphur in these cases is recovered as sulphuric acid or liquid sulphur dioxide and small amounts of elemental sulphur. Other sources of sulphuric acid which currently account for small quantities of production are gypsum and anhydrite.

Elemental sulphur is preferred over other forms of sulphur, for shipping and storage. It is inert, solid, easily stored without any protection. When it is recovered at sour gas plants it is over 99 per cent pure; this results in substantially lower shipping costs relative to transportation costs for compounds. For example sulphuric acid is at a 3 to 1 disadvantage in that regard as it contains only one third sulphur by weight.

The two largest industrial nations, the United States and the U.S.S.R., together account for over 40 per cent of both production and consumption of sulphur in-all-forms. Canada accounts for 13 per cent of world production, and 3 per cent of its consumption.

Compounds of Sulphur

The costs and benefits of producing elemental sulphur (S) or sulphur compounds from the different naturally occurring compounds can be demonstrated by the energy released or required to bring about the necessary chemical changes.

Figure 1

energy released going to the right

H_2S

FeS_2 S (elemental) SO_2 H_2SO_4 $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (gypsum)

energy required to move from the right

As shown in Figure 1, the sulphur is in a reduced state in hydrogen sulphide (H_2S recovered with natural gas), and in pyrite (FeS_2 representative of metallic sulphides). Energy is released ie. usable heat is produced in oxidizing the sulphur; represented by moving toward the right. Thus at natural gas plants heat is produced in going from H_2S to elemental sulphur S.

H_2S.....S (elemental)

At nonferrous smelters heat is produced during the roasting and the smelting of the concentrate; moving from FeS_2 to SO_2.

FeS_2.....SO_2

Unfortunately the burning of the concentrate bypasses the elemental sulphur stage and energy has to be added, usually at considerable cost, to produce elemental sulphur from SO_2. In hydrometallurgical processing of concentrates the byproduct is elemental sulphur but as will be explained later there are other costs associated with those processes.

For producing sulphuric acid from elemental sulphur or sulphur dioxide the operating costs are fairly small although capital costs can be large.

S.....SO_2.....H_2SO_4

Burning elemental sulphur to produce sulphur dioxide and then producing sulphuric acid over a catalyst currently accounts for two-thirds of world sulphuric acid production. In the process, energy released per tonne of sulphur is equivalent to two barrels of oil, and is used for steam generation at acid plants around the world. This energy credit adds to the value of elemental sulphur.

Conversely sulphuric acid from gypsum (or synthetic calcium sulphate) is an expensive proposition except in countries where energy is very cheap.

H_2SO_4.....$CaSO_4.2H_2O$

Sulphuric acid (H_2SO_4, 32.7 per cent sulphur by weight) is the major reagent of the fertilizer and chemical industries, accounting for 80 per cent of all sulphur consumption. Two-thirds of this acid is produced by burning some 30 million tpy of sulphur; in the process, some 10.5 million kilojoules of heat energy per t* of sulphur is released. The recoverable amount of energy is equivalent to about 45 million barrels of oil a year, but only a small fraction of that energy source is tapped.

WORLD INDUSTRY STRUCTURE

Production

Production of sulphur in-all-forms has totalled between 53 and 55 million t in each of the past four years. More than 60 per cent of that sulphur has been in elemental form at some stage and most of the remainder has been recovered as sulphuric acid from metal sulphides. The elemental sulphur or brimstone production given in Table 14 is made up of byproduct sulphur recovered from natural gas and oil refining (53 per cent), Frasch** process production (41 per cent) and conventional sulphur mining (4 per cent).

Four countries produce 63 per cent of the total sulphur in-all-forms; United States, U.S.S.R., Canada and Poland. In the U.S.S.R. over 60 per cent of production is from metal sulphides whereas for the other three countries, production is overwhelmingly brimstone.

Consumption

World consumption of sulphur in-all-forms over the past four years has, at 54 to 56 million tpy, exceeded production by a cumulative 5 million t; the discrepancy has been compensated by withdrawals from stockpiles, mainly from those in Alberta. Consumption of sulphuric acid has been an indicator of the level of industrial activity for over a century and the major consuming areas are, as expected, North America and Europe.

The importance of fertilizer production in the supply/demand balance is shown in Figure 2, adapted from data published by The British Sulphur Corporation, Limited. Growth of fertilizer industries in North America and Latin America is expected to be the only significant change in the consumption pattern over the next decade.

Trade

As shown in Tables 1 and 2 the two largest producers of sulphur, the United States and the U.S.S.R. are also the two largest consumers, they are both net importers of sulphur. Because of their size a small change in their domestic supply/demand balances can have a significant effect on world trade. Significant surpluses in sulphur are shown for Canada,

---

* Approximately 9 million Btu per tonne.

** Named for Hermann Frasch, the inventor of the process of melting sulphur in-situ and pumping it to the surface.

TABLE 1

World Production of Sulphur In All Forms

	1979		1980		1981	
	All-forms	Brimstone	All-forms	Brimstone	All-forms	Brimstone
	(000 t S/S-equivalent)					
World total	54 120	34 429	54 626	34 661	53 856	33 482
Western world	35 695	25 529	35 611	25 397	35 108	24 676
Western Europe	7 658	3 664	7 795	3 694	7 654	3 610
Finland	403	34	406	40	458	45
France	2 294	2 121	2 225	2 058	2 127	1 970
West Germany	1 692	1 048	1 771	1 089	1 813	1 109
Italy	561	56	580	71	516	78
Norway	180	7	248	8	266	8
Spain	1 158	16	1 222	18	1 199	20
Sweden	312	36	315	48	311	37
Others	1 058	346	1 028	362	964	343
Africa	826	44	875	44	954	38
Asia	4 380	2 525	4 403	2 480	4 004	2 043
Iran	244	244	226	226	6	6
Iraq	762	762	491	491	145	145
Japan	2 818	1 189	2 820	1 151	2 706	1 041
Others	556	330	866	612	1 147	851
Oceania	211	14	181	14	185	14
North America	19 865	16 782	19 659	16 708	19 618	16 532
Canada	7 022	6 355	7 140	6 245	6 828	5 925
United States	12 843	10 427	12 519	10 463	12 790	10 607
Latin America[1]	2 739	2 499	2 590	2 457	2 693	2 439
Mexico	2 230	2 120	2 212	2 102	2 136	2 052
Others	509	379	378	355	557	387
Communist world[2]	18 425	8 900	19 015	9 264	18 748	8 806
Poland	5 093	4 830	5 364	5 164	4 922	4 773
U.S.S.R.	9 506	3 740	9 672	3 778	9 501	3 710
Others	3 826	330	3 979	322	4 325	323

Source: The British Sulphur Corporation Limited.
[1] Latin America excluding Cuba.
[2] Totals include, China, North Korea, Vietnam, Cuba and other eastern Europe.

FIGURE 2

CONSUMPTION OF SULPHUR-IN-ALL-FORMS 1981

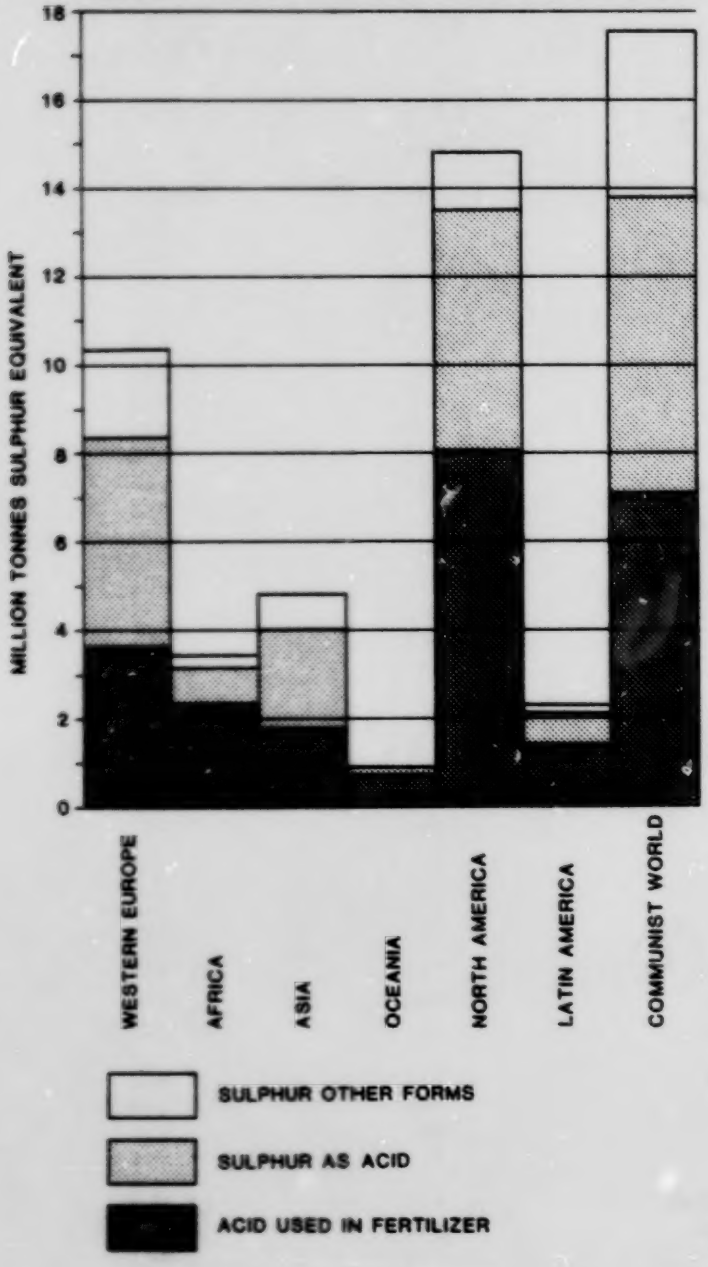


TABLE 2

World Consumption of Sulphur In All Forms

	1979	1980	1981
		(000 t S/S-equivalent)	
World total	54 894	55 708	54 256
Western World	38 059	38 558	36 681
Western Europe	11 499	10 882	10 376
Belgium	869	822	788
Finland	435	442	454
France	1 979	1 929	1 720
West Germany	1 856	1 766	1 667
Greece	451	433	355
Italy	1 401	1 263	1 050
Netherlands	628	632	633
Spain	1 250	1 295	1 240
Sweden	331	298	352
United Kingdom	1 287	1 249	1 120
Others	1 012	753	997
Africa	2 982	3 121	3 445
Morocco	652	681	841
South Africa	1 187	1 356	1 346
Tunisia	508	715	760
Others	635	369	498
Asia	4 913	5 043	4 853
India	1 100	1 022	1 032
Japan	2 396	2 512	2 420
South Korea	561	609	464
Others	856	900	937
Oceania	1 042	1 054	921
Australia	786	805	730
New Zealand	246	249	187
North America	15 411	15 999	14 802
Canada	1 708	1 899	1 797
United States	13 703	14 100	13 005
Latin America[1]	2 212	2 459	2 284
Brazil	800	1 044	838
Mexico	943	951	993
Others	469	464	453
Communist world[2]	16 835	17 150	17 575
Eastern Europe	3 931	4 048	4 033
U.S.S.R.	9 607	9 866	10 265
Others	3 297	3 236	3 277

Source: The British Sulphur Corporation Limited.

1 Latin America excluding Cuba.

2 Totals include, China, North Korea, Vietnam, Cuba and other eastern Europe.

Poland, Mexico and, prior to 1981, for Iran and Iraq. These five countries along with the United States and France which engage in import and export on a large scale are the major sulphur exporters. The bulk of trade is in elemental form (Table 3).

The major importers are the countries of western Europe, South Africa, Morocco, Tunisia, India and South Korea, Australia and Brazil.

The major trade from Poland has been to eastern and western Europe, and to North Africa. Exports of sulphur from Poland to Brazil are forecast to increase to help balance Brazil's trade surplus with Poland in other commodities and as payment in kind on Poland's debt to Brazil. In North Africa, Poland has been an aggressive seller and will likely expand in that market. Sulphur production in Poland is in elemental form mainly from Frasch mines. The outlook is for continued development of Frasch mines to replace the older Frasch and open pit mines as they are depleted. In the medium and long-term there will be a rather slow growth in production but exports to western countries will rise or fall depending on U.S.S.R. and other Comecon states demand. In the late 1980s a surge in exports to the west may be expected as the Astrakhan gas field comes into production in the U.S.S.R. and shipments to that country are cutback.

France has some traditional customers in North Africa but with the gradual depletion of the sulphur in the Lacq gas field (the prime source of French sulphur) the role of France in international sulphur trade is forecast to decline.

The situation in Mexico is much less simple. A policy of promoting self-sufficiency has prompted investment in both phosphate and Frasch sulphur, as necessary for the fertilizer industry. In addition, recovery of sulphur from sour natural gas has grown in importance. As domestic supply and demand grew together, exports from Mexico have been stable over the past several years. However, recent setbacks in phosphate rock production may signal a short-term increase in surplus sulphur supply and exports. In the medium and long-term the outlook is for Mexico to maintain exports to traditional customers at former levels.

A major new source of elemental sulphur supply is Saudi Arabia, which has been producing sulphur at three plants and, when shipments began in March 1982, had 1.4 million t in stockpiles. Currently, exports are equivalent to 800 000 tpy and the medium term potential is about 1.5 million tpy.

Continued unrest in Iran and Iraq has kept deliveries from these countries to a small fraction of the potential. When the conflict is resolved close to a million tpy can be expected to be supplied from Iraq over the long-term and about half that quantity could be available from Iran.

TABLE 3

Brimstone Exports by Major Suppliers

	1979					1980					1981				
	United States	Mexico	Canada	France	Poland	United States	Mexico	Canada	France	Poland	United States	Mexico	Canada	France	Poland
								(000 t)							
World total	1 896	1 193	5 439	1 293	3 874	1 615	1 129	6 797	1 069	3 917	1 392	1 194	7 137	952	3 817
Western world	1 831	1 193	5 112	1 293	2 108	1 555	1 089	6 445	1 069	2 031	1 173	1 020	6 595	952	1 932
Western Europe	1 019	193	736	1 011	1 621	882	211	895	813	1 654	752	257	642	711	1 295
Belgium	349	-	55	82	53	277	-	55	39	22	250	-	42	47	22
France	161	42	77	-	474	144	46	150	-	447	66	5	128	-	357
West Germany	90	-	79	15	238	80	-	89	8	234	82	-	85	2	171
Greece	57	-	30	71	199	-	-	40	75	227	15	-	30	46	164
Italy	68	-	360	143	91	-	-	402	111	120	-	-	265	81	76
Netherlands	155	-	-	121	90	164	-	-	111	68	149	-	-	97	66
United Kingdom	139	134	135	389	351	214	125	160	287	353	170	121	92	257	288
Others	-	17	-	190	125	4	40	-	182	183	20	131	-	181	151
Africa	254	-	1 130	277	373	326	-	1 479	256	293	91	5	1 604	241	444
South Africa	61	-	659	-	-	112	-	824	-	-	16	-	559	-	-
Tunisia	-	-	161	168	99	35	-	327	185	85	-	-	443	150	178
Others	193	-	310	109	274	179	-	328	71	208	75	5	602	91	266
Asia	245	17	921	5	51	49	83	900	-	36	172	90	1 187	-	58
India	214	17	300	-	50	49	83	156	-	14	161	90	462	-	57
South Korea	-	-	254	-	-	-	-	277	-	-	6	-	202	-	-
Taiwan	-	-	240	-	-	-	-	293	-	-	-	-	199	-	-
Others	31	-	127	5	1	-	-	174	-	22	5	-	324	-	1
Oceania	96	-	573	-	-	33	-	913	-	-	1	-	775	-	-
Australia	96	-	328	-	-	33	-	638	-	-	1	-	568	-	-
New Zealand	-	-	245	-	-	-	-	275	-	-	-	-	202	-	-
Others	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-
North America	8	952	1 265	-	-	2	741	1 517	-	-	11	655	1 666	-	-
Canada	8	-	-	-	-	2	-	-	-	-	11	-	-	-	-
United States	-	952	1 265	-	-	-	741	1 517	-	-	-	655	1 666	-	-
Central America	21	8	-	-	-	33	5	-	-	-	57	6	5	-	-
South America	189	23	488	-	63	230	49	741	-	48	89	8	716	-	135
Brazil	120	21	380	-	-	123	45	637	-	48	51	8	554	-	135
Others	69	2	108	-	63	107	4	104	-	-	38	-	162	-	-
Communist world	65	-	327	-	1 766	59	40	352	-	1 886	219	174	542	-	1 885
Czechoslovakia	5	-	-	-	443	-	-	-	-	440	-	-	-	-	458
Hungary	-	-	-	-	140	-	-	21	-	153	-	-	-	-	139
Others	60	-	327	-	1 184	59	40	331	-	1 293	217	174	542	-	1 288

Source: The British Sulphur Corporation Limited.

NORTH AMERICA

There are several levels of international sulphur trade. The shipment of elemental sulphur in solid form is worldwide with individual deliveries halfway around the globe.

Molten elemental sulphur has more restricted trade routes due to limitations imposed by the use of special dedicated carriers such as tank cars with steam tracing for rail and special tankers for sea trade. Rail is used for trade within Europe and within North America. Seaborne trade in molten sulphur occurs for shipments from Mexico to southeast United States and for a portion of the shipments from Mexico and the United States to Europe.

Even more restricted is the movement of pyrite and sulphuric acid which contain only 50 per cent and 32.7 per cent sulphur, respectively. Most trade in these commodities is intracontinental.

When considering sulphur in-all-forms, the North American continent constitutes a distinct market area with internal trade in sulphuric acid, molten sulphur and pyrite, insulated to a degree from the world market insolid elemental sulphur.

Canada

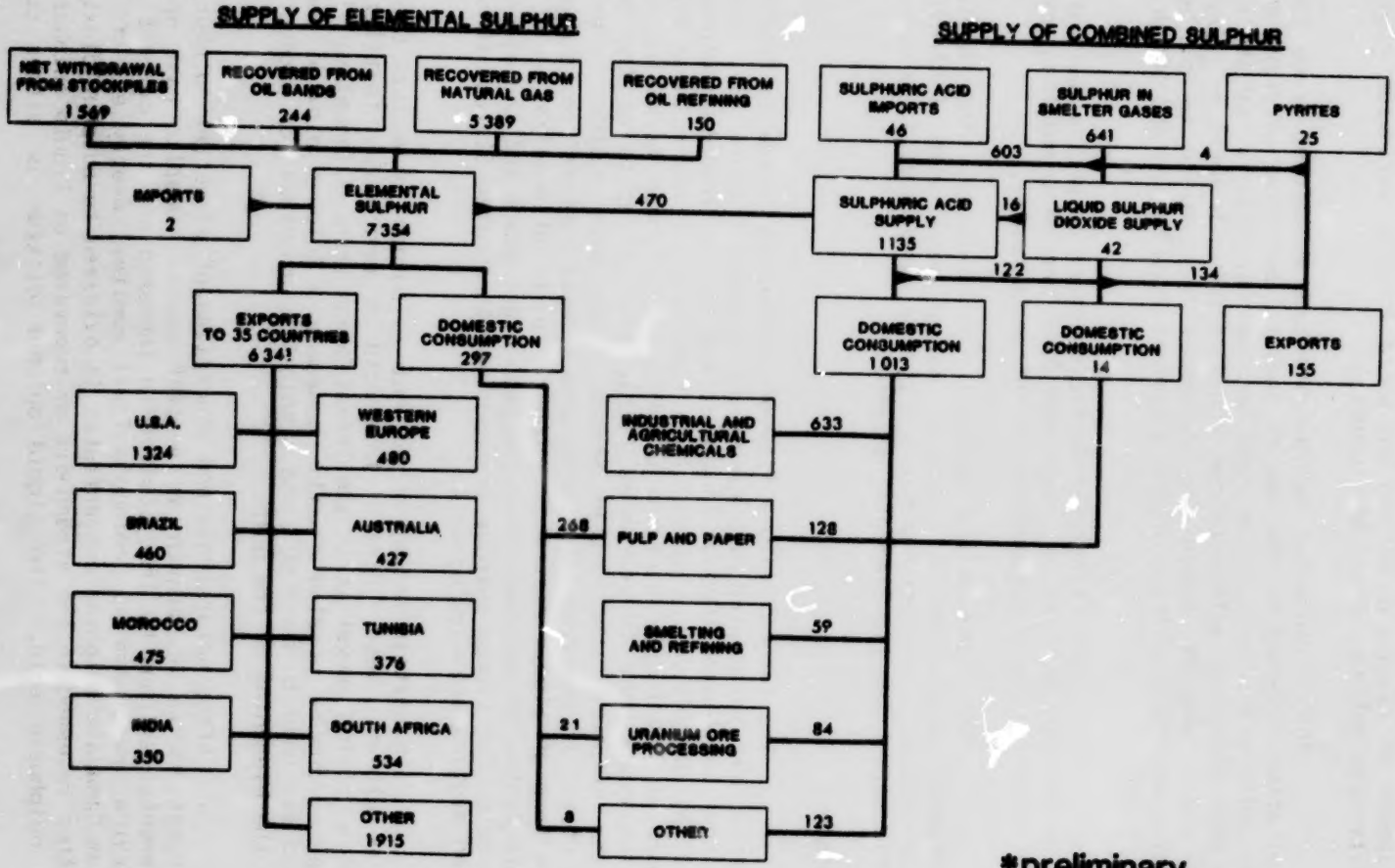
The largest volume flow of sulphur in Canada is from natural gas plants and associated stockpiles to exports (Figure 3). Most of this sulphur is shipped through Vancouver and all is elemental sulphur formed as prills, granules or slates. More than half of the sulphur exported offshore is handled by Cansulex Limited, an offshore marketing organization which represents 18 companies (Table 4). In spite of the dominance of sales offshore, the United States takes more sulphur than any other country. It receives imports through several customs' ports and mainly, in the form of liquid elemental sulphur. With rationalization of the transport system to Vancouver over the past eight years and the economies introduced by the liquid sulphur transport to the United States, these distribution systems are working well.

A certain amount of sulphur is burned in western Canada to produce sulphuric acid. Most of this acid is used by the fertilizer industry but a growing market is in the Saskatchewan uranium industry. The pulp and paper industry is also a major consumer. Sulphur dioxide and sulphuric acid are used in the Kraft and bisulphite processes for producing pulp and in the bleaching of the pulp.

After natural gas and stockpiles of elemental sulphur, the third largest source of sulphur is smelter gases. Despite past production of elemental sulphur by Inco Limited in Thompson and the current hydrometallurgical programme at Cominco's Trail smelter, nearly all of the sulphur from Canada's sulphide concentrates is oxidized to sulphur dioxide and then either released to the atmosphere or recovered as liquid sulphur dioxide or as sulphuric acid. The liquid sulphur dioxide is either converted to

FIGURE 3

SULPHUR - ALL-FORMS SUPPLY/END USE RELATIONSHIP, 1982 (Sulphur Content 000 tonnes)*



*preliminary

TABLE 4

Consulex Limited

Member Companies

BP Exploration Canada Limited
Canadian Occidental Petroleum Ltd.
Canadian Reserve Oil & Gas Ltd.
Canterra Energy Ltd.
Champlin Petroleum Company
Chevron Standard Limited
Dome Petroleum Limited
Gulf Canada Limited
Hamilton Brothers Canadian Gas Company Ltd.
Home Oil Company Limited
Hudson's Bay Oil and Gas Company Limited
Husky Oil Operations Ltd.
Interedec (USA) Inc.
Mobil Oil Canada, Ltd.
Norcen Energy Resources Limited
The Paddon Hughes Development Co. Ltd.
Petrogas Processing Ltd.
Union Oil Company of Canada Limited

sulphuric acid, used by the pulp and paper industry, or sold in the United States. The sulphuric acid market is dominated by the fertilizer industry (in Figure 3 classified as industrial and agricultural chemicals to be consistent with Statistics Canada definitions). A minor amount of sulphur is recovered in elemental form by Cominco and ammonium sulphate is produced by Sherritt Gordon Mines Limited.

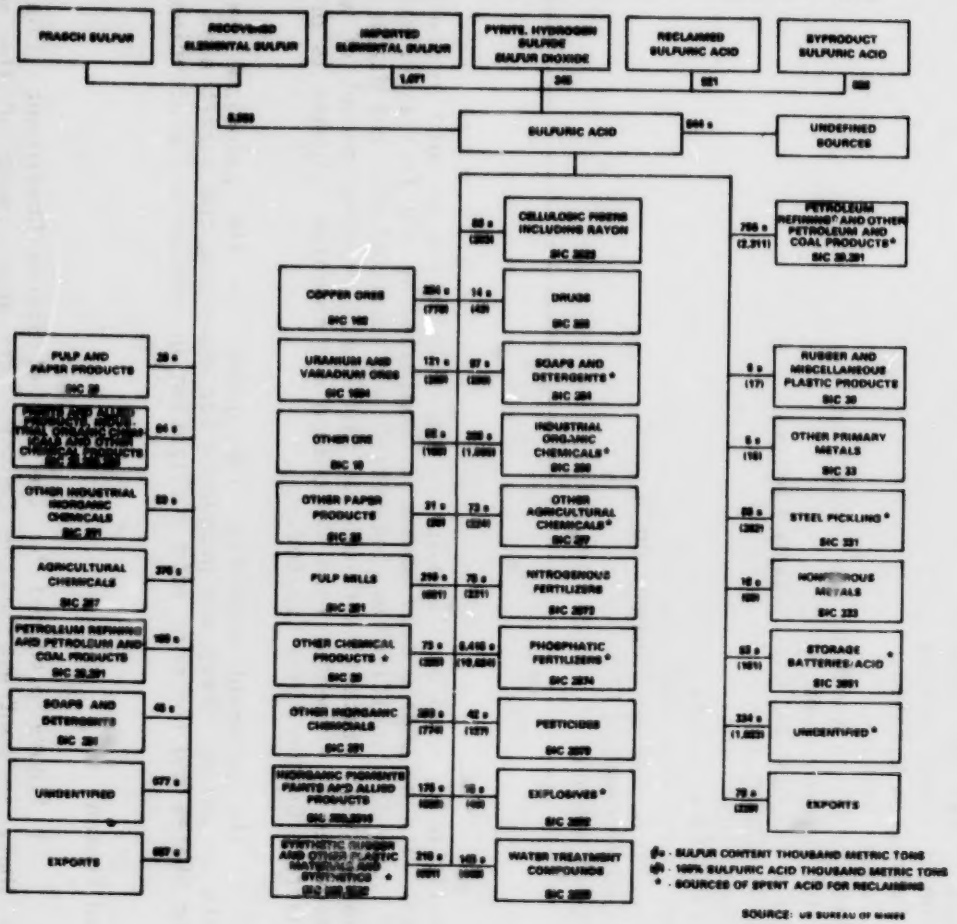
The apparent potential for growth in the principal existing markets is low but there are prospects for expanding the market area in the United States and for more acid utilization in uranium ore processing.

United States

A figure produced by the United States Government (Figure 4) shows that, in contrast to the Canadian situation, most of the sulphur produced in the United States is used domestically. The largest stream, in the flow diagram, is from Frasch and recovered sulphur through the sulphuric acid stage to the production of phosphatic fertilizers. In the past, Frasch production, being voluntary, could increase or decrease in response to demand in the fertilizer sector. However, with an increasing proportion of production coming from involuntary sources, natural gas and petroleum refining, and the depletion in the major sulphur bearing salt

FIGURE 4

SULFUR-SULFURIC ACID SUPPLY AND END USE RELATIONSHIP, 1982



- SULFUR CONTENT THOUSAND METRIC TONS
- 100% SULFURIC ACID THOUSAND METRIC TONS
* - SOURCES OF SPENT ACID FOR RECLAIMING

domes, the flexibility in the system to respond to changes in demand is progressively reduced. June 1982 marked the first time that both production and shipments of recovered sulphur exceeded Frasch sulphur production and shipments.

Mexico

Nearly all Mexican sulphur production is brimstone. Frasch production peaked at 1.79 million t in 1979 and had decreased to 1.1 million t in 1983 in spite of the opening of a new mine in 1981. Recovered sulphur from natural gas and oil refining has exceeded 400 000 t for several years and should increase over the medium-term. Domestic deliveries have grown steadily as Mexico has tried to attain self-sufficiency in fertilizer production. As a result, exports have been cutback from 1.3 million t in 1978 to under 950 000 t in 1983.

Mexico is expected to continue traditional sales to the southeast United States market but exports to other destinations will likely fall off as domestic demand continues to increase.

Intracontinental Movement of Sulphur

There are 50 sour gas plants in Canada which recover sulphur and at each plant the gas belonging to a dozen or more companies is processed, each company owning a portion of the output. Sixty-five per cent of the sulphur is shipped over the Rocky Mountains to Vancouver for export.

Sultran Ltd., formed in 1976 to rationalize shipment offshore of that sulphur, (some 5.5 million t in 1981) operates like a pipeline company; it is owned by 19 shareholding companies and serves 13 sour gas plants. The services of Sultran are extended to non-members, at the same rates as those applying to shareholders. Over the past five years, Sultran has negotiated rail rates with CN and CP on behalf of its clients, coordinated unit train shipments to Vancouver, and put into service 680 of its own bathtub gondola cars which is largely accounted for upgrading the rolling stock used to transport sulphur to Vancouver. In January 1982, Sultran took control of Pacific Coast Terminals Co. Ltd., one of the two terminals in Vancouver to handle sulphur. Improvements in the car dumping system and tracking at Pacific Coast Terminals (Port Moody) are expected to shorten the turnaround time of trains. The effectiveness of Sultran is demonstrated by its nearly 100 per cent share of sulphur traffic from Alberta to Vancouver.

Shipments through Prince Rupert, British Columbia were about 200 000 t, mainly as granules, in 1981.

Some 2.5 million t of sulphur in 1981 (2.1 million t in 1982) were not shipped offshore but were trucked and railed to destination in Canada and the United States. Over half was shipped as molten sulphur to the United States by rail. The logistics involved many producers and owners of sulphur stocks at each of the sour gas plants. Some members of industry see potential for reducing costs by dealing through a single agent such as Sultran to handle logistics and negotiations with railways for shipping sulphur to the United States.

Bulk liquid and some formed sulphur are railed and trucked from the points of production to destinations in North America. The sales are negotiated between producer and consumer for both long-term contracts and spot shipments. Exports to the United States had been fairly steady at between 1 million t and 1.2 million t for a decade. Stable market areas are established in Illinois, Ohio, Pennsylvania and New York (Figures 5, 6, 7). Growth in markets for Canadian sulphur have been identified in Idaho, Iowa, Florida, Virginia, West Virginia, Washington and Louisiana. Far more Canadian sulphur is shipped to Idaho than to any other state and there is a dependence on a small number of consumers there.

The Canadian market for elemental sulphur averages 850 000 tpy half of which remains in Alberta for the manufacture of fertilizer. Transportation of liquid sulphur, by truck, serves a significant part of this market.

FORECAST SULPHUR DEMAND

World consumption of sulphur in-all-forms reached a peak of 55.7 million t in 1980, culminating 30 years of growth at a cumulative rate of 5.5 per cent/year. In 1981 and 1982 demand fell, especially in the western world where annual demand for elemental sulphur alone decreased by 4 million t.

A recovery has been predicted by most international organizations. The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) has projected phosphate fertilizer demand to rise to 39.68 million t P_2O_5 equivalent in the 1986/87 fertilizer year. This would require an increase of about 5.6 million t S equivalent for fertilizer production. The British Sulphur Corporation Limited has forecasted that sulphur use by nonfertilizer industries will increase by only 0.9 per cent/year to 1990 in the industrialized western countries and by 3.5 per cent/year and 3.4 per cent/year in the developing and communist countries, respectively. For fertilizer use, The British Sulphur Corporation Limited has forecasted sulphur demand to grow by 3.5 per cent/year to 1990 in the western world and by 4.2 per cent/year in the communist bloc. These rates result in a world sulphur consumption growth of 14.3 million t to 1990 over the previous peak in 1980, in spite of the sharp drop in western world consumption in 1981 and 1982.

Canada

Tables 5 and 6 show that demand for sulphur will increase in Canada and that the rate of growth will depend mainly on expansions in the fertilizer industry. The additional fertilizer capacity to meet the higher forecast consumption is either planned or under construction, but the utilization of that capacity will depend largely on the degree of competition mounted by United States' fertilizer producers.

FIGURE 5

CANADIAN EXPORTED SULPHUR DISTRIBUTION AVERAGE 1975–1978
THE UNITED STATES OF AMERICA

● FIFTY THOUSAND TONNES OF CANADIAN ELEMENTAL SULPHUR

FIGURE 6

CANADIAN EXPORTED SULPHUR DISTRIBUTION 1979
THE UNITED STATES OF AMERICA

● FIFTY THOUSAND TONNES OF CANADIAN ELEMENTAL SULPHUR

FIGURE 7

CANADIAN EXPORTED SULPHUR DISTRIBUTION 1980
THE UNITED STATES OF AMERICA

● FIFTY THOUSAND TONNES OF CANADIAN ELEMENTAL SULPHUR

TABLE 5

Canada, Forecast Demand Sulphur All-Forms 1984-91
High Case

Year	Phosphate Rock Imports	Sulphur Demand for Fertilizer	Sulphur Demand for Pulp & Paper	Sulphur Demand for Uranium	Other Uses Demand	Total
			(000 t)			
1984	3 971	873	500	111	777	2 261
1985	4 103	903	500	143	805	2 351
1986	4 235	932	500	164	832	2 428
1987	4 366	961	500	164	860	2 485
1988	4 498	990	500	164	887	2 541
1989	4 630	1 019	500	164	915	2 598
1990	4 762	1 048	500	164	942	2 654
1991	4 894	1 077	500	164	970	2 711

TABLE 6

Canada, Forecast Demand Sulphur All-Forms 1984-91
Low Case

Year	Phosphate Rock Imports	Sulphur Demand for Fertilizer	Sulphur Demand for Pulp & Paper	Sulphur Demand for Uranium	Other Uses Demand	Total
			(000 t)			
1984	3 265	718	350	111	572	1 751
1985	3 287	723	350	143	593	1 809
1986	3 305	727	350	164	614	1 855
1987	3 321	731	350	164	636	1 881
1988	3 335	734	350	164	657	1 905
1989	3 347	736	350	164	678	1 928
1990	3 357	739	350	164	699	1 952
1991	3 366	741	350	164	720	1 975

Canadian Demand

The consumption of sulphuric acid for the production of fertilizer in Canada is directly related to the importation of phosphate rock. Using an historical series from 1961 to 1981, projections were made of phosphate rock imports and the probable sulphuric acid consumption. An average 0.22 t sulphur equivalent of sulphuric acid was assumed to be used in the digestion of each tonne of phosphate rock.

In the pulp and paper industry, there are three major processes for making wood pulp: ground wood, Kraft and sulphite. The sulphite process uses more sulphur dioxide per tonne of product than the Kraft

process which in turn, uses more than ground wood. Growth of the industry as a whole has been forecast to be 1½ to 2 per cent and the proportion of sulphite pulp is expected to decresse. Under these conditions, a zero growth rate for sulphur dioxide consumption was assumed with annual variations of between 350 000 and 500 000 t sulphur equivalent.

Consumption of sulphuric acid in the processing of uranium ore ranges from 0.01 to 0.4 t of acid per tonne of ore, depending on the grade and mineralogy. Each mine in Canada was analyzed as to its forecast production capability and then a forecast of production of ore was made, based on the existing uranium contracts plus a small allowance for new contracts. The mines at Agnew Lake, Beaverlodge and Madawaska closed during 1982. The Cluff Lake mine is forecast to expand to commercial size and the Key Lake and Stanleigh mines are forecast to open before 1985. Based on these assumptions, the consumption of sulphuric acid was forecast to double between 1982 and 1986, and to continue at the higher level into the 1990s.

On an annual basis, sulphur consumption for smelting and refining and other uses has been erratic over the past twenty years, but a trend to growth in the range 21 000 to 27 000 tpy was established using a three year moving average.

United States

The growth rate for sulphur all-forms demand in the United States, developed through the analyses given in Appendix II produced the forecast in Table 7 and is somewhat lower than that developed by John Shelton of the United States Bureau of Mines (USBM) in 1981, and does not take account of new uses such as sulphur extended asphalt and sulphur concrete. A high demand case, as developed by John Shelton is given in Table 8.

TABLE 7

United States, Forecast Demand Sulphur All-Forms 1984-91

Year	Phosphate Rock Consumption	Sulphur Demand for Fertilizer	Other Uses Demand	Total
		(000 t)		
1984	44 022	9 685	5 283	14 968
1985	45 225	9 950	5 365	15 315
1986	46 402	10 208	5 447	15 655
1987	47 551	10 461	5 529	15 990
1988	48 671	10 708	5 611	16 319
1989	49 763	10 948	5 693	16 641
1990	50 826	11 182	5 775	16 957
1991	51 859	11 409	5 857	17 266
2000*		14 000	10 100	24 100

* Shelton, J.E.' "Supply and Demand for Sulphur in the United States", in "Sulphur-81": Proceedings of the International Conference, Calgary, May 1981, p. 81-89.

TABLE 8

Projected United States Sulphur Demand in 2000

End Use	Demand (000 t)
Agricultural uses	14 000
Petroleum refining	2 000
Ore processing	1 800
Plastic and synthetic products	1 300
Other conventional uses	5 000
Sub-total	24 100
New Uses	
Sulphur asphalt paving	9 100
Sulphur concrete	1 000
Total	34 000

United States Demand

The consumption of sulphuric acid in the production of phosphate fertilizer in the United States, whether for export or domestic consumption, is directly related to the consumption of phosphate rock. Based on an historical series from 1960 to 1981, a straight line regression analysis of phosphate rock consumption gave in the test of correlation an r-squared of .9432. The consumption of sulphur per tonne of rock has climbed steadily over seven years from 0.18 to 0.22 t sulphur as the average grade of phosphate rock declined from 0.322 P_2O_5 to 0.317 P_2O_5. A continued sulphur consumption, the rate of change could not be forecast based on the data available.

The demand projection for the United States which resulted from a "Gompertz" regression analysis of the 1960 to 1981 data (r-squared .9553) is very similar to the straight line analysis. The projected consumption of phosphate rock was 52 349 650 t and 51 859 170 t for the straight line and "Gompertz" analyses respectively for 1991. The latter projection was used in the United States' demand (Table 7).

The growth in demand for sulphur and sulphuric acid by the petroleum refining and other non-fertilizer industries was rapid until 1969, then remained more or less stable until 1977 in spite of the growth in the United States' economy as a whole. Since 1977, the annual consumption has swung erratically as the economic climate stimulated growth in this sector up to 1979 and declined since then. The potential for growth was shown in 1978 and 1979 and, if the 20 year trend is analysed, a growth rate of some 82 000 tpy of sulphur can be perceived. Projections on that basis are incorporated in the United States' demand.

FORECAST SULPHUR PRODUCTION

Native sulphur is produced either by surface mining, or by Frasch mining. In the latter process hot water is injected underground to melt the sulphur, which in turn is forced to the surface by compressed air. Both mining methods are used by voluntary producers of sulphur. The rate of production of these voluntary producers depends on the costs of energy and materials, the technical limitations of the deposits, and the market price of sulphur.

A substantial amount of sulphur is also recovered in the elemental form as a byproduct of sour natural gas production and petroleum refining. The recovery costs of this "involuntary" production is customarily charged against the natural gas or oil produced. Thus, the rate of production of sulphur as a byproduct is largely independent of the price of sulphur.

In the early 1970s when Canadian involuntary sulphur production increased rapidly, world supply greatly exceeded the quantity demanded at the time. Prices fell, and because of the relative inelasticity of demand for the commodity, stocks increased. Suffice it to say that at the lower prices, several of the Frasch producers in the United States were forced to close their operations.

Canada

The supply of sulphur in Canada depends mainly on the amount recovered during the processing of raw sour gas. There are several trends which will affect future levels of recovery, especially in Alberta. Since the early 1970s, new gas wells brought on-stream have been mainly sweet and the ratio of sweet gas to sour gas in total annual production has increased significantly. On a well-by-well basis, the concentration of H_2S declines over the productive life of the reservoir and this also has had an effect on sulphur recovery. The quantities of sulphur made available depend on the amount of raw gas processed. Raw gas processing has run about 43 per cent more than natural gas product available for sale, due to process shrinkage and re-injection (sulphur is removed before re-injection). These effects, coupled with a modified National Energy Board (Appendix II) forecast of natural gas demand, give the sulphur production forecast in Table 9.

TABLE 9

Canada, Production of Sulphur from Natural Gas, 1984-91

	Natural Gas Demand	Natural Gas Demand	Raw Gas Supply	Sulphur from Existing Wells	Sulphur from New Wells	Sulphur from Gas
	petajoules	$10^9 m^3$	$10^9 m^3$	$10^3 t$	$10^3 t$	$10^3 t$
1984	3 655	94.2	134.6	4 870	2 124	6 994
1985	3 873	99.9	142.7	4 626	2 589	7 214
1986	4 038	104.1	148.7	4 382	2 933	7 315
1987	4 199	108.2	154.6	4 138	3 272	7 410
1988	4 274	110.2	157.4	3 894	3 433	7 327
1989	4 355	112.2	160.3	3 650	3 599	7 249
1990	4 374	112.7	161.0	3 406	3 639	7 045
1991	4 397	113.3	161.9	3 162	3 691	6 853

With curtailment of the development of the Alsands and Cold Lake projects, for tar sands and heavy oil only existing plants will likely contribute to the sulphur supply before 1991. Some expansion is planned at the existing plants which could bring annual production capability from tar sands to 500 000 tpy. A gradual increase up to that capacity is forecast to occur, as shown in Table 10.

TABLE 10

Canada, Production of Sulphur and Sulphuric Acid, 1984-91

Year	From Natural Gas	From Oil Sand	Oil Refining	Elemental Sulphur	Sulphur in Smelter Gas	Total
			(000 t sulphur)			
1984	6 994	351	135	7 480	881	8 361
1985	7 214	372	135	7 721	905	8 626
1986	7 315	394	135	7 844	935	8 779
1987	7 410	415	135	7 960	1 100	9 060
1988	7 327	436	135	7 898	1 100	8 998
1989	7 249	457	135	7 841	1 250	9 091
1990	7 045	479	135	7 659	1 350	9 009
1991	6 853	500	135	7 488	1 350	8 838

The recovery of sulphur from oil refining in Canada occurs mainly in the eastern provinces from the processing of foreign crude oil. A continuation of processing of foreign crude at current levels is forecast and therefore there will be no growth in sulphur recovery from that source.

In 1981 and 1982 Canada's base metal smelters were operating at well below capacity and the sulphur dioxide and sulphuric acid produced was only a fraction of the capacity of existing plants. Over the next ten years, capacity will be increased and an examination of the situation at each smelter was made to determine the likely pace of construction of sulphuric acid plants.

United States

Forecast production of sulphur and sulphuric acid is given in Table 11 and explained in Appendix II.

TABLE 11

United States Production of Sulphur and Sulphuric Acid, 1984-91

Year	From Natural Gas	From Oil Refining	Synfuels	Frasch	Smelters	Other	Total
			(000 t sulphur)				
1984	2 743	2 762	40	5 623	1 200	600	12 968
1985	3 000	2 920	80	5 381	1 200	600	13 181
1986	3 212	2 976	324	5 140	1 200	600	13 452
1987	3 424	3 032	568	4 899	1 100	600	13 623
1988	3 636	3 088	812	4 657	1 100	800	14 093
1989	3 848	3 144	1 056	4 416	1 000	1 000	14 464
1990	4 060	3 200	1 300	4 174	1 000	1 200	14 934
1991	4 272	3 256	1 544	3 932	1 000	1 400	15 404

NORTH AMERICAN SULPHUR BALANCE

When forecast demand and supply for Canada are compared, as in Table 12, it is seen that the production will be surplus to Canadian needs beyond 1991 but that the surplus will be more or less fixed in size, and growth in exports can be achieved only by drawing down the stockpiles.

TABLE 12

Canada, Production Surplus 1984-91

Year	Production All-Forms	Demand Low Case	Demand High Case	Surplus
		(000 t sulphur)		
1984	8 361	1 751	2 261	6 100 - 6 610
1985	8 626	1 809	2 351	6 275 - 6 817
1986	8 779	1 855	2 428	6 351 - 6 924
1987	9 060	1 881	2 485	6 575 - 7 179
1988	8 998	1 905	2 541	6 457 - 7 093
1989	9 091	1 928	2 598	6 493 - 7 163
1990	9 009	1 952	2 654	6 355 - 7 357
1991	8 838	1 975	2 711	6 127 - 6 863

In Table 13, United States demand and supply are compared. A continued dependence on imports is evident but, because of regional market structures, it is probable that exports will continue from the southern states and the deficiency will be made up by imports from Canada and Mexico. The level of exports from the United States will be balanced by imports from Canada, and changes in stockpiles.

TABLE 13

United States Net Demand and Canadian Sulphur Availability, 1984-91

Year	United States Demand	United States Production	Imports from Mexico	United States & Canada Stockpile Change	United States & Canada Offshore Exports
			(000 t)		
1984	14 968	12 968	850	(2 200)	7 150 - 7 660
1985	15 315	13 181	850	(2 159)	7 150 - 7 692
1986	15 655	13 452	850	(2 152)	7 150 - 7 723
1987	15 990	13 623	850	(2 092)	7 150 - 7 754
1988	16 319	14 093	850	(2 069)	7 150 - 7 786
1989	16 641	14 464	850	(1 984)	7 150 - 7 820
1990	16 957	14 934	850	(1 968)	7 150 - 8 152
1991	17 266	15 404	850	(2 035)	7 150 - 7 886

( ) - decline.

WORLD SULPHUR BALANCE 1983-91

Some growth in sulphur production is probable in Poland, U.S.S.R., Saudi Arabia, Iran and Iraq. In total the growth in these countries will likely increase production by between 5 and 8 million tpy around the end of the decade.

According to the chairman of The British Sulphur Corporation Limited*, over the next eight years, withdrawals from producer stockpiles will be restricted and imports from and exports to the communist world likely to be unchanged at a net import level of about three-quarter million tpy.

With new supplies of recovered sulphur becoming available these typical manifestations of oversupply are expected to diminish only gradually over the next two to three years.

As demonstrated during the 1970s, the demand for sulphur is price-inelastic over a wide range of prices. Therefore, if the involuntary producers in Canada were to attempt to dispose of their reserve stocks as

* Lancaster, J.M., Sulphur Supply and Demand, The Global Outlook, November 15, 1982.

quickly as possible, prices would fall and, as in the early 1970s, some voluntary producers could be forced to close. Moreover, if Canadian suppliers succeeded in selling all their stocks, then at the end of four years, the annual sulphur supply from Canada would drop by 3.5 million t, and the remaining voluntary producers would not be able to make up that difference. Without reserve stocks, a real supply crisis could develop.

CANADIAN ELEMENTAL SULPHUR IN INTERNATIONAL TRADE

About 15 million t of elemental sulphur is traded internationally. A little over half is byproduct or involuntary sulphur supplied by Canada, Saudi Arabia, and France while the remainder of export is voluntary sulphur from Poland, the United States, Mexico and Iraq. Phosphate fertilizer production accounts for half of the consumption and a diversity of industries consume the rest. As a reagent without competitively-priced substitutes, sulphur demand is price inelastic over the range of historical prices.

Canada's Role in the Marketplace

Five and a half million tpy of elemental sulphur is recovered at sour gas plants in Alberta and British Columbia. An equivalent amount is shipped via the Port of Vancouver to about 30 countries around the world. Another 1.5 million t is shipped as liquid sulphur to the United States and somewhat less than one million t of elemental sulphur remains in Canada, largely for use in the fertilizer and pulp and paper industries. The ability to ship some 2 million t more than is produced annually is predicated on withdrawal from stocks which accumulated between the late 1960s and 1979. At their peak in 1979, these reserve stocks exceeded 21 million t, but by mid-1983, they had been reduced to about 15 million t.

Byproduct sulphur production at sour gas wells in Alberta began to increase rapidly in 1966, and reached a peak in 1973. Since then, the trend has been a gradual decline as the gas industry shifted production back to a higher proportion of sweet gas (low in hydrogen sulphide).

From 1968 to 1978, stockpiles in Canada and the United States increased every year. The average North American price slumped to $US 17/t in 1972 and 1973, while Canadian sulphur production peaked, giving rise to a mistaken perception that there would be a perennial surplus (Figure 8). In the United States, Frasch producers scrambled to maintain their revenue by increasing sales through the expansion of market shares. Lower production costs of involuntary producers allowed them to undercut Frasch producers.

By 1974, it was recognized by some observers that stocks would not grow forever, and at that time, prices began to recover to levels at least equivalent to the cost of transport. By 1975, prices began to reflect the coat of production of Frasch producers, and through 1978 held at about $US 45/t. In 1979, exports from Canada increased to 5.1 million t, stocks were drawn on, and producers recognized that sulphur could be an

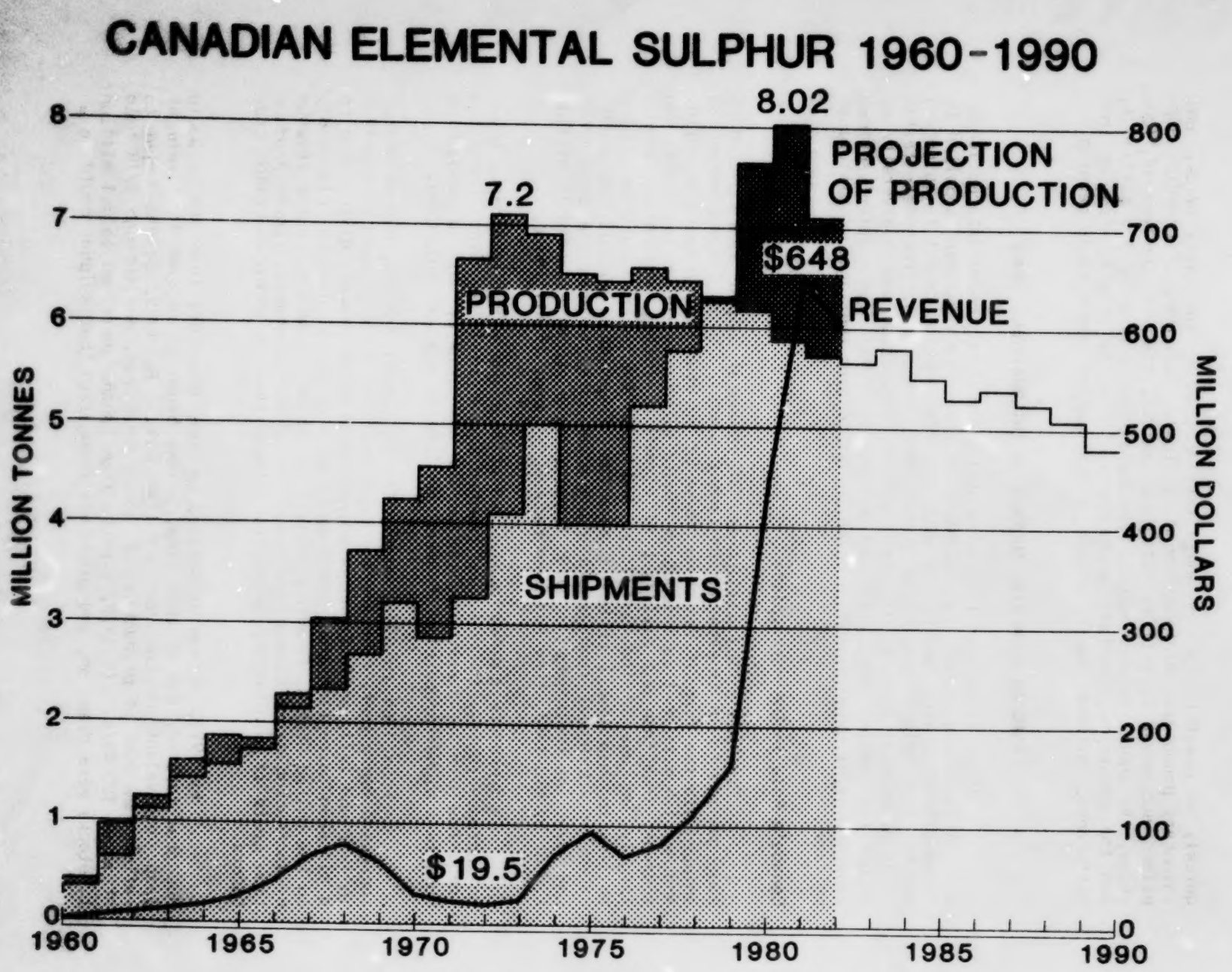

CANADIAN ELEMENTAL SULPHUR 1960-1990
8.02
7.2
PROJECTION
OF PRODUCTION
$648
PRODUCTION
REVENUE
SHIPMENTS
$19.5
MILLION TONNES
MILLION DOLLARS
0
1
2
3
4
5
6
7
8
0
100
200
300
400
500
600
700
800
1960
1965
1970
1975
1980
1985
1990

FIGURE 8

important source of revenue. The price rose to $US 56/t, and continued to rise in 1980 and 1981. Investment in infrastructure and more equitable terms on contracts with the railways and ports were established. The Frasch industry in the United States was then incurring higher costs due to increases in natural gas prices. Some Canadian producers were no longer under pressure to "dispose" of stocks and in time, came to recognize that the cash value of byproduct sulphur could be increased by avoiding undercutting Frasch producers.

In 1980 and 1981, political unrest in Poland and the outbreak of war between Iran and Iraq withdrew some 1.5 million t from the world supply. In addition, the expected supply of elemental sulphur from Saudi Arabia was delayed for two years. These shortfalls in supply led to price increases and to an opportunity to increase sales from the reserve stocks in Alberta and the United States. Surprisingly, however, it was not until 1981 that price (in real terms) exceeded the peak established in 1968! The new price level was therefore in line with the cost of producing and delivering sulphur recovered by Frasch producers in the southwest United States. The most concentrated single market in the world is Florida; the delivery of Frasch sulphur to that area established the price for international sulphur trade. As a result of the severe recession there were minor adjustments as demand slackened in 1982 and from year-end to mid-1983 there was no net withdrawal from the stockpiles.

Over the past four years, clever management of stockpiles has resulted in withdrawals totalling 5.5 million t, while world price was at or above the costs faced by voluntary producers. In 1983, under the influence of lower world demand and the entry of Saudi Arabia on the market and the efforts of several of the involuntary producers to maintain market share the price fell below the cost level faced by some voluntary producers.

Issues and Opportunities

The world market for sulphur, especially elemental sulphur, outside of North America, will grow at an average rate of about 3 per cent/year over the next ten years but this growth will not be steady and difficult to predict on a year to year basis. On the other hand, sulphur production will increase in stages and be only marginally influenced by demand for sulphur.

To be responsive within this market structure the marketing strategy pursued by the two largest of the Canadian sulphur export companies consists of long-term contracts, with price negotiations every six months, as a way to ensure security of supply and price stability.

The involuntary producers determine their price, based on their expectations of the long-term price trends. Moreover the costs faced by present voluntary producers will be a key factor in projections of price since voluntary production will continue to play a substantive role in long-term supply.

The largest involuntary suppliers recognize that their returns will be maximized at prices equivalent to the average cost of production for voluntary producers. At higher prices, voluntary production capacity would increase and market shares of traditional exporters would shrink. At lower prices, involuntary producers' market share would expand, but reserve stocks would be sold below the long-term price trend. Thus, reserve stocks could be responsibly managed, by liquidating them when price rises above the long-term trend and by building them up when price falls. Such a practice would ensure stable supplies and optimum returns to involuntary producers.

For Canada this implies that reserve stockpiled elemental sulphur will eventually be sold and that overall withdrawal from stocks will exceed additions over the next ten years; however, the reverse may happen and stocks may build up over short terms in several of those years.

North American demand for sulphuric acid will continue to exceed available supply from nonferrous smelters and thermal power plants for at least another decade. The market for sulphuric acid will depend, in large part, on the delivered price of elemental sulphur as an alternative source of acid. Elemental sulphur prices will in turn depend mainly on the behaviour of Canadian sulphur in world trade.

Competition for international trade in sulphur reduced Canada's share by 1.5 million t in 1983, relative to exports in 1982. Poland is again an aggressive seller in North Africa and South America; Saudi Arabia started shipping at the 800 000 tpy level; and Iran and Iraq are resuming exports of sulphur, albeit at lower rates than in 1980. It is unlikely that a moderate decline in price will diminish their eagerness to make sales because of the foreign exchange requirements of those countries. Competition will be most severe in western Europe, Morocco, Tunisia, India and Brazil.

If Canada accepts a reduction in market share and waits for demand to catch up with the new supply sources, prices could stabilize and the residual market served by Canada would continue to provide a profitable return on a per tonne basis. On the other hand, stiff competition among Canadian suppliers on the offshore export market would continue to drive the price down. If we assume that in the short-term, voluntary producers would not close down, Canadian suppliers would not gain any appreciable increase in market share and would register a significant drop in total revenue.

Federal policies should therefore encourage a consistent marketing strategy among exporters of Canadian sulphur so as to ensure optimal management of reserve stocks and, as far as possible, stabilize the international price of sulphur at fair and equitable levels.

Barter trade presents an opportunity for meeting foreign exchange shortages in several of the countries now importing elemental sulphur. The barters can be three-way or mixed systems such as the current arrangement among Cansulex, the German Democratic Republic (GDR) and Brazil. Sulphur

is puchased by GDR from Cansulex for delivery in Brazil in exchange for goods delivered in GDR. Longer term barters have the additional advantage of protecting the partners from capricious price changes in either commodity.

Another opportunity exists in swap arrangements whereby producers swap contracts to take advantage of shorter delivery distances and lower freight costs. For example, a swap arrangement with Mexico for Canadian sales into the United States would involve shipments of Canadian sulphur to fertilizer plants on the west coast of Mexico; a similar tonnage of sulphur would be exported from Mexico's east coast for delivery in south east United States. The Canadian sulphur would thereby enjoy lower rail costs in the United States and Mexican material could be delivered by ship in the United States instead of being railed across the country to the west coast fertilizer plants.

Such alternate marketing methods could increase trade and help stabilize prices.

SULPHUR DIOXIDE CONTROL

In nonferrous smelters, the burning of the sulphide ores is the first step in the smelting process. This use of energy in sulphur ore is an important factor in the economics of Canadian nickel smelters in maintaining a competitive position relative to operations in other countries especially those based on laterites (the metallic minerals in laterites are oxides rather than sulphides; therefore, considerable fuel is consumed in producing the metal).

Hydrometallurgical processing of sulphide ore yields sulphur in the elemental form; this technology is being exploited on a pilot scale by Cominco at Trail, British Columbia. The reagent costs are higher for this type of process and it does not take advantage of the energy available from the oxidation of sulphur. The technology will not be practicable for most Canadian ores for some time.

A significant reduction in SO_2 emissions from smelters can only be achieved in the short-term by the astute application of proven or nearly proven technology to existing process streams. One method is to reject more low grade ore in the mill circuits. The costs of this solution are borne by the need to increase the amount of ore milled to produce a given quantity of metal and lower metal recovery in mill circuits.

Given adequate markets for sulphuric acid and sufficient SO_2 content in gas streams (4 per cent or more), conversion to sulphuric acid in a conventional acid plant is still the lowest risk and economically attractive option for abatement of SO_2 emissions. This would require a *preferred market access strategy for abatement acid.* Research into ways of increasing the value of acid through market development and of reducing the costs of recovery and transportation should be investigated.

There are essentially two markets for sulphuric acid. The larger market consists of large volume purchasers, concerned with secure supply and sufficient requirements that they have the option of building an acid plant to burn elemental sulphur for 'own make' acid. These consumers are able to negotiate relatively low prices for acid under long-term contracts. Most fertilizer producers fit this category. The other market is made up of many consumers, each taking relatively small volumes of acid and for whom the cost of acid is only a small part of the costs of production. These consumers purchase acid at posted prices which are usually considerably higher than those available under long-term large-tonnage contracts. This latter group of consumers constitute the 'merchant acid' market.

C-I-L Inc. which markets acid for three eastern Canadian smelters has tried to increase the net-backs to smelters by selling a high proportion of the acid surplus to Canadian needs in the merchant acid market in the United States. As mentioned previously acid is at a 3 to 1 disadvantage relative to elemental sulphur for shipping so that serving the United States market required rationalization of transportation. A major acid terminal was built in Chicago for Canadian acid; the target market was an area within 500 km of the terminal. The strategy has been fairly successful and there appears to be potential to increase sales of acid in that area.

In the longer term there are two key factors to improving the economics of reducing emissions of sulphur dioxide:

- reducing the cost of recovering the SO_2.
- raising the value of the byproduct.

Economics of Sulphur Dioxide Recovery

The technology for recovering sulphur dioxide from gas streams is known and operating experience has been gained over several decades at smelters around the world. However, the system must be designed to fit particular smelting methods, equipment and composition of concentrates being processed at each smelter. The numerous factors to be considered in designing new or modifying existing smelters are included in several areas where fundamental research if undertaken soon could seriously influence decisions. Some of these factors are:

- treatment of weak SO_2 gas streams
- removal of trace concentrations of harmful elements
- recovery of valuable byproducts

Government support to sulphur dioxide abatement research will be critical. Such support could be based on:

- capital and operating costs incurred by smelter operators,
- reduction in SO_2 emissions measured as a proportion of 1980 emissions,
- containment of sulphur measured as a per cent of sulphur in the concentrate,
- the net return on the sale of byproducts

Byproducts

There are few common products of SO_2 abatement:

- calcium sulphite/sulphate (in sludge or dry wastes)
- synthetic gypsum
- sulphuric acid
- liquid SO_2

In addition there are several other abatement byproducts for which technologies are still under development. These include:

- sulphates of ammonia, sodium, potassium and magnesium
- sulphite of sodium and magnesium

There is a wide range of abatement byproduct technolgies, at various stages of development which, if appropriately exploited, will offer a potential for improving byproduct utility and value, and hence the economics of SO_2 abatement. The selection of process and the number of choices of means to reduce SO_2 emissions will be influenced by the existing or possibly new and expanding markets for the different byproducts. The potential advantage is most attractive when smelter design or modification is based on recovering a desirable byproduct. Such design can only be improved through better knowledge of production, treatment, transportation, and marketing of 'traditional' byproducts and the possibilities for the numerous alternatives.

Research and Development

It is necessary to stimulate research and development on sulphur dioxide abatement through effective federal-provincial-industry cooperation to reduce long-term constraints on the expansion of our nonferrous industry.

In the early 1970s a chronic oversupply of elemental sulphur was forecast by the Canadian natural gas industry and by some governmental experts. The Sulphur Development Institute of Canada (SUDIC), described below, was set up in 1973 to develop and promote new uses for sulphur to alleviate the perceived problem. SUDIC has efficiently managed research funds. By year-end 1982, 973 000 t of sulphur had been used in sulphur extended asphalt, 80 per cent of this using SUDIC technology. Some of the other programs are equally promising although they have used smaller tonnages than asphalt to date. Significantly many projects which appeared promising at the initial stage were funded only as long as the potential for commercial application was clear. The structure of SUDIC has allowed funds to be directed easily to projects most likely to be commercially successful.

The Sulphur Development Institute of Canada (SUDIC) was incorporated under Part II of the Canada Corporations Act as a non-profit organization in 1973. It is supported by fees from sustaining member companies and by grants from the Governments of Canada and Alberta. In

response to a broadening demand for participation in SUDIC affairs, the by-laws were amended during 1977 to accommodate associate and foreign membership. SUDIC staff is accountable to a nine-member Board of Directors, six representing the member companies, and two the supporting governments.

The broad aims of the Institute are to develop and promote major new uses for sulphur in Canada and elsewhere, to assist in the establishment of new Canadian industry based on sulphur as a raw material, and to further the use and consumption of sulphur in present markets.

Within this framework SUDIC's primary objective is to catalyze and assist in the commercial development of new large volume markets for sulphur. This is accomplished by contracting with industrial organizations for the funding of specific development projects; providing grants to universities and research institutes for mission-oriented research in support of the development program; and coordinating and disseminating technical information to encourage and assist innovations on new applications for sulphur.

A feasibility study is currently under way to assess the range of institutional options for dealing with research and development opportunities into technological means of improving the economics of reducing sulphur dioxide emissions. It will assess the potential role of different levels of government, industry, and universities or any combination of these in pursuing such research.

For example, a research foundation could be set up with a mandate related specifically to sulphur dioxide. The foundation would undertake research on the capture of SO_2, production of byproducts and development of markets for byproducts. An alternative could be a focal point office which would act as a research and development catalyst. A third option would be a rental project manager such as SUDIC and expansion of the role of SUDIC may be investigated.

The objective would be coordination of the research effort with resulting improvement in the economics of sulphur dioxide abatement technology.

APPENDIX I

BACKGROUND ON SULPHUR AND SULPHUR COMPOUNDS

Sulphur is the 15 most common element in the earth's crust. It occurs naturally in the elemental state as native sulphur, a yellow inert solid. This yellow solid is found around volcanic vents, and in some evaporite series. Sulphur is, however, far more prevalent in combined forms with metals as the sulphide minerals, as sulphates such as gypsum, and as the gas, hydrogen sulphide, frequently found in natural gas reservoirs.

The element sulphur is 16th in the periodic table and has an atomic weight of 32.06. Its elemental form, known since antiquity as brimstone, is a pale yellow, odourless, brittle solid, insoluble in water. At standard temperatures and pressure sulphur forms thick tabular orthorhombic crystals with a specific gravity of 2.07. The melting point is 113°C and it will burn at 270°C with a blue flame.

Hydrogen sulphide is a highly toxic and corrosive gas under standard conditions and occurs dissolved in natural gas and in crude oil. The modified Claus process is used to recover elemental sulphur from sour natural gas. H_2S is extracted by absorption into a solution of either diethanolamine, monoethanolamine, hot potassium carbonate, or sulfinol. The solution is heated in a stripper tower where H_2S is evolved. The H_2S passes into a furnace where partial oxidation and reaction occurs as follows:

$$2H_2S + 3O_2 \quad 2H_2O + 2SO_2$$

$$2H_2S + SO_2 \quad 2H_2O + 3S$$

Gas from this furnace enters a condenser-converter series and liquid sulphur is removed in each unit until 95 per cent or more of the original sulphur has been drawn off.

Pyrite (FeS_2, 53.5 per cent sulphur by weight) and pyrrhotite ($Fe_{1-x}S$) are iron sulphides which are widely distributed, and are of commercial importance as sources of sulphur.

Other metal sulphides such as chalcopyrite ($CuFeS_2$), sphalerite $(Zn,Fe)S$, galena (PbS_2) and pentlandite $(Fe,Ni)_9S_8$ are important in Canada as sources of copper, zinc, lead and nickel. There are 14 nonferrous smelters in Canada and some of the sulphur in off gases is recovered at 8 of these. The sulphide ore when roasted at the beginning of the smelting process gives off sulphur dioxide gas. The gas is then either; chilled and compressed to form liquified SO_2 (50.1 per cent sulphur by weight) or, converted over a catalyst to sulphur trioxide (SO_3) and then, with the addition of water, recovered as sulphuric acid (or when there is excess SO_3, as oleum).

Frasch Process

In this process, large quantities of hot water are introduced through wells drilled into buried deposits of native sulphur. The heat from the water melts the sulphur in the vicinity of the wells; the melted sulphur is then removed to the surface as molten elemental sulphur of high purity. An outer pipe acts as a protective casing extending to the barren caprock above the sulphur formations. The next pipe, extending to the bottom of the sulphur zone, carries the flow of hot water, which is forced out through holes into the sulphur-bearing formation. The heat in the hot water is transferred to the formation, melting the sulphur, which, being heavier than water, accumulates in the form of a liquid sulphur pool at the bottom of the well. Of the two inner pipes, the smaller one carried compressed air, which acts as an airlift to raise the liquid sulphur to the surface through the next larger pipe. The injected water is not removed through the production well. Rather, it migrates through the formation and is eventually extracted through bleed-water wells, which are generally located on the flanks of the structure away from the mining area.

The Canadian Sulphur Industry

Canadian sulphur is obtained from three sources: elemental sulphur derived from sour natural gas and petroleum, sulphuric acid and sulphur dioxide recovered from smelter gases and sulphuric acid from pyrite concentrates. Minor tonnages of elemental sulphur are recovered as a byproduct of electrolytic refining of nickel sulphide matte.

In 1982, 92 per cent of Canadian sulphur shipments were in elemental form, mainly from sour gas plants in western Canada but also from the Athabasca oil sands and from oil refineries. Over 1.5 million t of elemental sulphur were drawn from stockpiles to bring shipments of elemental sulphur to 7.4 million t.

Although the H_2S content of sour gas fields ranges as high as 91 per cent by weight, most producing fields contain from 1 to 20 per cent. Sulphur recoveries range from 94.5 per cent for gas plants handling 10 tpd of sulphur, to 99 per cent for plants with 1 300 tpd of sulphur in inlet gas. Reported reserves of sulphur recoverable from natural gas in Alberta stood at 119.3 million t at the end of 1981. On the other hand, an estimated 181 million t of sulphur have been classified as reserves in crude bitumen, chiefly from the tar sands near Fort McMurrey.

There were 46 sour gas plants operating in Alberta, and three in British Columbia in 1982 (Table 14). The nameplate capacity of the sulphur recovery plants together was 10 million tpy. There was 4 945 000 t of sulphur recovered at the Alberta plants and 200 000 t in British Columbia. As gas fields are slowly depleted of H_2S the utilization of sulphur recovery units will decrease. In 1982, there was only 48 per cent capacity utilization, of the sulphur recovery units.

TABLE 14

Canada, Sour Gas Sulphur Extraction Plants, 1982

Operating Company	Source Field or Plant Location (Alberta, except where noted)	H_2S in Raw Gas (per cent)	Daily Capacity (t)
Amerada Hess Corporation	Olds	11	384
Amoco Canada Petroleum	Bigstone Creek	19	382
Amoco Canada Petroleum	East Crossfield	34	1 757
Amoco Canada Petroleum	Windfall	16	1 175
Canada-Cities Service, Ltd.	Paddle River		19
Canadian Superior Oil Ltd.	Harmattan-Elkton	53	490
Canadian Superior Oil Ltd.	Lonepine Creek	12	157
Canterra Energy Ltd.	Brazeau River		42
Canterra Energy Ltd.	Okotoks	36	459
Canterra Energy Ltd.	Rainbow Lake	4	139
Canterra Energy Ltd.	Ram River (Ricinus)	9-35	4 567
Chevron Standard Limited	Kaybob South	19	3 521
Chevron Standard Limited	Nevis	7	260
Dome Petroleum Limited	Steelman, Sask.	1	7
Esso Resources Canada	Joffre		17
Esso Resources Canada	Quirk Creek	9	300
Esso Resources Canada	Redwater	3	33
Gulf Canada Limited	Homeglen-Rimbey	1-3	333
Gulf Canada Limited	Nevis	3-7	295
Gulf Canada Limited	Pincher Creek	10	160
Gulf Canada Limited	Strachan	10	943
Home Oil Company Limited	Carstairs	1	72
Hudson's Bay Oil and Gas	Brazeau River	1	110
Hudson's Bay Oil and Gas	Caroline	1	22
Hudson's Bay Oil and Gas	Edson	2	284.5
Hudson's Bay Oil and Gas	Kaybob South (1)	17	1 064
Hudson's Bay Oil and Gas	Kaybob South (2)	17	1 064
Hudson's Bay Oil and Gas	Lonepine Creek	10	283
Hudson's Bay Oil and Gas	Sturgeon Lake		49
Hudson's Bay Oil and Gas	Zama		74
Mobil Oil Canada, Ltd.	Wimborne	14	168
Mobil Oil Canada, Ltd.	Teepee		29
PanCanadian Petroleum Limited	Morley		18
Petro-Canada	Gold Creek		43
Petro-Canada	Wildcat Hills	4	177
Petrogas Processing Ltd.	Crossfield (Balzac)	31	1 687
Saratoga Processing Company	Savannah Creek (Coleman)	13	389
Shell Canada Limited	Burnt Timber Creek	8-5	497
Shell Canada Limited	Innisfail	14	163
Shell Canada Limited	Jumping Pound	3-5	511
Shell Canada Limited	Rosevear		153
Shell Canada Limited	Simonette River	15	267
Shell Canada Limited	Waterton	18-25	3 066
Sulpetro Limited	Minnehik-Buck Lake		45
Suncor Inc.	Rosevear		110
Texaco Exploration Company	Bonnie Glen		15
Westcoast Transmission	Fort Nelson, B.C.		1 100
Westcoast Transmission	Taylor Flats, B.C.	3	460
Western Decalta Petroleum	Turner Valley	4	24
Total daily rated capacity December 31, 1982			28 439

Sources: Alberta Energy Resources Conservation Board publications.

One sour gas plant expansion should be completed and three new plants should be operating by the end of 1983. Shell Canada Resources Limited is increasing the capacity of the Jumping Pound plant from 511 tpd to 566 tpd elemental sulphur. Hudson's Bay Oil and Gas Company Limited is constructing a gas plant at Brazeau River, capable of producing 300 tpd of sulphur. Gulf Canada Resources Inc. has nearly completed a new plant in the Hanlan-Robb area, with a capacity of 1 478 tpd. Chieftain Development Co. Ltd. and Texaco Canada Resources Ltd. are planning a plant with 200 tpd capacity for the Hythe area.

Canadian Occidental Petroleum Ltd. is planning to construct a sour gas plant of 700 tpd sulphur capacity for operation in 1985. The plant to be located near Alderside, Alberta has been named the Mazeppa plant.

Sulphur can be recovered at 12 of Canada's operating oil refineries but in 1982 much of the capacity was unused (Table 15). About 36 000 t of elemental sulphur was recovered from domestic crude oil (not including the tar sands) and perhaps four times that amount was recovered from foreign crude oil (not counted as domestic production).

TABLE 15

Canadian Refinery Sulphur Capacities, 1982

Operating Company	Location	Daily Capacity (t)
Gulf Canada Limited	Edmonton, Alberta	103
	Port Moody, B.C.	25
	Clarkson, Ontario	40
	Port Tupper, N.S.	40[1]
Husky Oil Ltd.	Prince George, B.C.	5
Imperial Oil Limited	Edmonton, Alberta	36
	Dartmouth, N.S.	40
	Sarnia, Ontario	103
	Vancouver, B.C.	20
Irving Oil Limited	Saint John, N.B.	200
Sulconam Inc.	Montreal, Quebec	300
Newfoundland Refining Co. Ltd.	Come-by-Chance, Nfld.	194[1]
Shell Canada Limited	Shellburn, B.C.	15
	Oakville, Ontario	50
	Sarnia, Ontario	31
Suncor Inc.	Sarnia, Ontario	10
Texaco Canada Resources Ltd.	Nanticoke, Ontario	8
Total 1982		986

Sources: Oilweek, Chemical Economics Handbook.
[1] Not operational in 1982.

The Athabasca oil sands in northern Alberta are not only a source of crude petroleum, but with a sulphur concentration averaging 4.8 per cent in bitumen, are an important source of elemental sulphur. In 1982, 244 000 t of sulphur were recovered at the two operating oil sands plants near Fort McMurray.

The plant opened in 1967 by Great Canadian Oil Sands Limited (GCOS) came under control of Suncor Inc. in August 1979 with the amalgamation of GCOS and Sun Oil Company.

The Syncrude Canada Ltd. plant, started operation in 1978.

A third project, proposed by a consortium, The Alsands Group, would have had a daily capacity of about 140 000 bbl of synthetic fuel and would be expected to recover 300 000 to 400 000 tpy of sulphur. This project has been postponed indefinitely.

Other projects which have been proposed include development of the Cold Lake heavy oil deposits with sulphur concentrations averaging 4.4 per cent, the Peace River deposit at 6 per cent sulphur and the Wabasca deposit at 6.1 per cent sulphur. Some 40 experimental projects are based on heavy oil and tar sands in Alberta and Saskatchewan.

Two recent gas strikes, Shell Whiskey and Chevron Shell Moose, south of Calgary gave H_2S concentrations of 7 to 40 per cent. Such wells and other fields like Panther River, known to be high in hydrogen sulphide could some day be developed as sulphur sources with recovery costs below those of Frasch mines.

Recovery of elemental sulphur conversion of coal may be possible at the Hat Creek deposit in British Columbia, where sulphur content averages 0.5 per cent.

Excess sulphur has been stockpiled in Alberta since the late 1960s until stocks peaked at 21 million t in July 1979. Thereafter withdrawals have exceeded additions and sulphur stored in Alberta amounted to 15.4 million t at year-end 1982.

Elemental sulphur is produced as an orange clear liquid at about 120°C. During the early 1970s, when supply far exceeded demand in Canada, the liquid sulphur was piped to enclosures or vats where layers of the molten material were allowed to cool and solidify. As each layer hardened the walls of the vat were raised and new layers of sulphur added until "blocks" of sulphur were formed covering several acres and were up to three stories high.

Elemental sulphur in the storage blocks was ripped with bulldozers and loaded with power shovels or front-end loaders into rail cars for shipment. The loading, transport, unloading and storage of lumps of broken material, bulk sulphur, generated dust and presented a health hazard and a safety concern, due to the risk of explosion. As a consequence, stationary and in-situ smelters have been introduced to produce liquid sulphur from the blocks. Current melting capacity is about 300 000 t per month.

Sulphur is, in some cases, shipped in liquid form. Tank cars are cheaper to load than hopper cars provided the sulphur can be loaded as it is produced. A skin of solid sulphur several cm thick forms on the inside surface of the tanks and creates an excellent insulator so that most of the sulphur remains liquid even at ambient temperatures of -30°C or lower. Unloading requires steam tracing to melt the insulation layer. Liquid shipments are not used to reach offshore markets but dominate trade within North America.

It is not possible to ship liquid sulphur to offshore markets and bulk shipments are not allowed because of dust problems. Formed sulphur, either slates, granules or prills now dominate the market. Slating involves passing a 5 to 10 mm layer of liquid sulphur along a long water cooled conveyor belt. The layer hardens and, at the end of the conveyor, breaks into "slates" some 3 to 6 cm across. Slated sulphur is easily handled with front-end loaders, shovels and conveyors. Slating capacity in Alberta is about 6 million t, much of which is being replaced by granulating and prilling.

In Canada, four processes account for nearly all of the production of granules or prills (Table 16). Two processes use water to quench sprays of molten sulphur, and produce relatively lumpy granules in a large range of sizes. The product is screened and undersize and oversize are returned to the granulators, liquified and reprocessed. These wet processes, the Fletcher and the P.V. Commodity Systems Ltd., require relatively low initial capital investment and can be scaled to fit nearly any size sour gas plant.

The prilling process, developed by Ciech of Poland, uses air, blown up through towers, to quench counter-current sprays of molten sulphur and produce spheroids of fairly consistent size. The granulating system of Procor Limited uses a rotating granulating dram into which molten sulphur is sprayed onto a falling sheet of 'seed' granule cores consisting of fines, recycled from the screening which follows granulation. These "dry processes" require high initial capital investment and are suited to large scale applications.

The Fletcher system is employed at three sites in British Columbia and a circuit is under construction at a fourth location (see Table 16). P.V. Commodity Systems Ltd. operates a granulator of their own design at Strachan, Alberta and is considering building another plant centrally located in Alberta.

The Procor GX pelletizer is in use at four locations in Alberta. Prilling units are operating at four gas plants and a fifth unit is under construction.

Metallic Sulphide Sources

In Canada the use of metallic sulphides for their sulphur content dates back to 1866. Early operations consisted essentially of roasting pyrite for direct manufacture of sulphuric acid. In the 1920s the use of

TABLE 16

Sulphur Forming Facilities in Western Canada

Location	Owner	Operator	System	Capacity (tpy)	Comments
Strachan, Alta.	P.V. Commodity Systems Ltd.		P.V. Commodity,	460 000	Wet process product is sold by Petrosul International Ltd.
Ft. Nelson, B.C.	British Columbia Petroleum Corp. (BCPC)	Procor Sulphur Services Division	Fletcher	100 000	
Prince Rupert, B.C.	Real International Marketing Ltd., National Harbours Board, Canadian Stevedoring Co. Ltd.		Fletcher	300 000	Liquid sulphur is delivered in tank cars designed by Sultran Ltd.
Ft. St. John, B.C.	BCPC	Petrosul	Fletcher	150 000	Product sold by Petrosul.
Strachan, Alta.	Gulf Canada Resources Inc., Placer-Cego Petroleum Ltd., Amerada Minerals Corp. of Canada Ltd.		Polish Prill	300 000	
Waterton, Alta.	Shell Canada Limited		Polish Prill	1 000 000	
Ram River, Alta.	Canterra Energy Ltd. Shell Canada Limited		Polish Prill	1 000 000	
Kaybob, Alta.	Hudson's Bay Oil and Gas Co.		Polish Prill	500 000	
Harmattan, Alta.	Procor Limited (Trans Union Corporation)		Procor GX	130 000	Product belongs to Shell.
Waterton, Alta.	Procor Limited		Procor GX	130 000	Product belongs to Shell.
Windfall, Alta.	Procor Limited		Procor GX	530 000	Product belongs to Canterra.
Lynton, Alta.	Procor Limited		Procor GX	280 000	Based on oil sands, product belongs to Sulmar Canada Ltd. and is sold by The Delta Marketing Group.
Total prills, pellets, granules capacity				4 880 000	
Total slating capacity				5 000 000	
Hanlan-Robb, Alta.	Gulf Canada Resources Inc.		Polish Prill	300 000	Under construction.
Pine River, B.C.	BCPC	Petrosul	Fletcher	250 000	Under construction.

base-metal smelter gases for the manufacture of byproduct H_2SO_4 began near Sudbury, Ontario, and at Trail, British Columbia. Virtually all Canada's sulphur production was from metallic sulphides prior to 1951, when the first sour gas sulphur recovery plant was built.

Smelter Gases

Effluent gas, from smelting sulphide ores, contains from 1 to 12 per cent sulphur dioxide (SO_2). Recovery of SO_2 includes processes for cleaning, cooling and concentrating the gas. Concentrated SO_2 is then used directly for the manufacture of H_2SO_4 via the contact-acid process. Also, as much as 90 000 tpy (45 000 t sulphur content) of liquid SO_2 is produced for use as a processing agent in a variety of applications, mainly in the pulp and paper industry. Some SO_2 is used for the manufacture of oleum (fuming sulphuric acid, $H_2S_2O_7$).

The largest H_2SO_4 complex in Canada is that of Inco Limited at Copper Cliff, Ontario. The company operates three acid plants that have a combined annual capacity of 900 000 t of H_2SO_4 based on SO_2 gas from Inco Limited's iron ore recovery plant. In addition, Inco has a liquid sulphur dioxide plant at the nearby Copper Cliff smelter. Acid produced at Copper Cliff is shipped by a 56-car, unit-train about 760 km to C-I-L Inc.'s fertilizer works near Sarnia, Ontario. C-I-L ships acid from Copper Cliff, Falconbridge and Timmins to depots at Niagara Falls, Ontario; Sorel, Quebec; Chicago, Illinois; Cleveland, Ohio; and River Rouge, Michigan.

Subsidiaries of Noranda Mines Limited produce smelter acid at three localities: Gaspé Copper Mines, Limited's 245 000 tpy plant at Murdochville, Quebec; Brunswick Mining and Smelting Corporation Limited's 125 000 tpy plant at Belledune, New Brunswick; and the Canadian Electrolytic Zinc Limited's zinc concentrate roasting facility at Valleyfield, Quebec, with a capacity of 120 000 tpy.

Cominco Ltd.'s sulphuric acid capacity at Trail, British Columbia, based on its lead-zinc smelter, was increased 30 per cent in 1975 to 430 000 tpy with the replacement of the older units by a single plant. Further expansion is planned for the early 1980s. Acid capacity at the company's Kimberley plant is 300 000 tpy. Much of the acid produced is used by Cominco in the manufacture of fertilizers.

Kidd Creek Mines Ltd.'s, Timmins, Ontario zinc plant has a sulphuric acid capacity of 190 000 tpy. In 1981 an acid plant connected with the copper smelter came into operation and raised acid capacity to 410 000 tpy.

Falconbridge Nickel Mines Limited (now Falconbridge Limited) brought a 285 000 tpy acid plant on-stream in 1979, in conjunction with the new electric smelter. The sulphuric acid produced is marketed by C-I-L Inc.

Production of sulphuric acid is also carried out at plants burning elemental sulphur. The majority of this production takes place at fertilizer plants in western Canada: at Redwater, Fort Saskatchewan, Calgary and Medicine Hat, Alberta and Prince George, British Columbia. Secondary in importance are fertilizer producers in eastern Canada, the chemical industries and uranium ore processors, from west to east at Rabbit Lake, Saskatchewan, Transcona, Manitoba, Port Maitland and Elmira, Ontario, and Varennes, Beloeil, Valleyfield and Arvida, Quebec.

Altogether Canadian annual capacity for production of sulphuric acid from all sources is 5 million t.

Consumption

Apparent consumption in 1982 was about 770 000 t of elemental sulphur in Canada. In addition, 510 000 t sulphur equivalent from smelter gases was consumed in Canada in 1980. About 1 million t of the total 1.3 million t consumed was in the form of sulphuric acid at some stage.

The largest consuming sector was industrial chemicals including phosphatic fertilizers. To serve the sulphuric acid requirements of this sector some 275 000 t of elemental sulphur was burned, and nearly 312 000 t sulphur equivalent was shipped, as acid, from acid plants adjacent to nonferrous smelters.

The second most important consumer was the pulp and paper industry which took about 270 000 t of elemental sulphur, about 14 000 t sulphur equivalent as sulphur dioxide, and over 100 000 t sulphur equivalent as sulphuric acid.

Uranium ore processing and other metal recovery accounted for the use of about 105 000 t sulphur equivalent as sulphuric acid. Other industries using significant amounts of sulphur or sulphuric acid were petroleum refining, plastics, rubber products, soaps, and food processing.

APPENDIX II

FORECASTING PARAMETERS

Canadian Production

For the forecast of sulphur production from sour natural gas it was assumed that domestic natural gas demand would grow at the rate forecast by the National Energy Board in June 1981. Export sales would be limited by export permits but would likely not reach the limits, so a factor for exports was determined for each year and added to the domestic demand to arrive at a gas availability figure. The proportion of marketable gas to raw gas was assumed to continue at the 1975-81 level. The production of sulphur from existing wells was assumed to continue to decline at the rate observed from 1973-81. The proportion of sour gas to sweet gas in new wells was assumed to be similar to the ratio for production from all wells in 1981. As shown in Table 5, with these assumptions, sour gas in new wells accounts for half the supply in 1989 and more thereafter, yet discovery rates for sweet gas, if high enough, could reduce the availability of sulphur from new gas by half. Therefore, the last 1.5 million t of sulphur production for the years after 1987 are less certain than the base level of about 5.5 million tpy.

Metals' production has been below capacity and sulphuric acid production will continue to be tied to the production of copper, lead, zinc and nickel. For the forecast of sulphuric acid and sulphur dioxide from nonferrous smelters, account was taken of Mineral Policy Sector forecasts of metal production and the limits of sulphuric acid production at each smelter.

United States Production

The forecast recovery of sulphur from oil refining, natural gas and synthetic fuels was arrived at by interpolation and extrapolation of the forecast made by D.G. Rangnow of the Pace Company Consultants to Engineers, Inc. at Sulphur 81. Table 11 shows the overwhelming importance of these sources to sulphur supply in the next 10 years.

In view of the intensity of exploration drilling in the area of Frasch production in the United States in the search for natural gas, it is unlikely that new reserves will be found. Remaining reserves are some 80 million t and the forecast depletion rate indicates annual production tapering off to about 2 million t by the year 2000 by which time reserves will be effectively reduced to uneconomic levels.

The recovery of sulphuric acid at nonferrous smelters will follow the base metal production in the United States. There is little likelihood of growth in this sector based on presently known reserves. A slow decline in overall production is forecast to commence in the mid- or late-1980s.

Sulphur from other existing facilities in the United States (classified as pyrites, hydrogen sulphide and sulphur dioxide) is unlikely to increase beyond the 500 000 t sulphur equivalent achieved in 1979. However, the great unknown is the possible recovery of sulphuric acid, sulphurous acid or marketable sulphur dioxide from thermal power plants. Such recovery will depend largely on regulations and the local price of sulphuric acid; this, in turn, will depend on sulphur prices. Considering the current market and the lead times necessary for the process design best suited to particular thermal power plants and specific coals, the recovery of marketable sulphur products from electric utilities has been forecast at less than 100 000 t for the next six years. On the other hand, the potential for growth and the possibility of high prices by the end of the decade are taken into account by assuming 3 million tpy from this source by the year 2000 and pro-rating the growth back to 1988.

Sulphur Balance

When Canada and the United States are considered together, a projection of offshore exports and changes in stocks can be made. The rate of stockpile withdrawal is calculated. Under one possible scenario, offshore exports are held to a minimum 7.15 million tpy after 1983 with the assumption of high growth in demand in Canada. That scenario indicates that the stocks in Canada and the United States would be eliminated by the end of 1991. However, if low growth in Canadian demand is used as an assumption then either exports could increase, as high as 8.15 million t in 1990, or stockpile withdrawals would be lower. In fact, with lower growth in demand in Canada while offshore exports are held at 7.15 million t, working stockpiles of about 3 million t each would remain in Canada and the United States in 1991.

Énergie, Mines et Ressources Canada
Minéraux

Energy, Mines and Resources Canada
Minerals

Secteur de la politique minérale
rapport interne MRI 84/5

LES DÉBOUCHÉS DU SOUFRE

par

B.W. Boyd
Division des minéraux industriels

December 14, 1983

Catalogue No. M35-2/84-5
ISBN: 0-662-53384-4

AVANT-PROPOS

L'acide sulfurique est de loin le produit chimique qui occupe le premier rang en ce qui concerne la quantité produite et il représente une partie importante du commerce depuis au moins 250 ans. L'acide sulfurique est extrait de la pyrite et des sulfures métalliques depuis bien plus longtemps et ces sources impliquent encore des coûts de production et de transport assez bas pour concurrencer d'autres sources d'acide. Dès 1930, au Canada, un autre facteur est entré en jeu lorsque, pour éviter d'endommager l'environnement en limitant les émissions de bioxyde de soufre, il a fallu construire une usine d'acide sulfurique à l'usine de fusion de la Consolidated Mining and Smelting Company of Canada (Limited) (appelée plus tard la Cominco Ltée) à Trail (Colombie- Britannique). Pour des raisons environnementales, la rétention du bioxyde de soufre émis par les usines de fusion est, depuis lors, un problème de plus en plus important.

Le soufre élémentaire est récupéré dans les usines de gaz naturel acide au Canada depuis 1952, afin d'empêcher la corrosion des pipe-lines par l'hydrogène sulfuré contenu dans le gaz acide. C'est par la suite que, pour des raisons environnementales, les usines ont été obligées de récupérer jusqu'à 99 % du soufre contenu dans le gaz acide.

Au cours des 50 dernières années, la valeur estimée du soufre et de ses composés comme ressource à exploiter pour en tirer un gain financier a été reléguée à l'arrière-plan tandis que le niveau de production était dicté par les taux de production de gaz naturel acide, de nickel, de cuivre, de plomb et de zinc, et par les restrictions imposées sur les émissions de bioxyde de soufre.

"Le soufre entre dans la fabrication ou le traitement de presque tous les produits industriels. Au stade initial de la consommation, le soufre est généralement transformé en un produit secondaire, dont le plus courant est l'acide sulfurique. Puis, il est utilisé à des fins industrielles bien déterminées, sous forme d'acide, d'élément ou de sulfite. Enfin, les produits industriels servent, à leur tour, à fabriquer d'innombrables articles tels que des aliments, des savons, des détergents, des vêtements,de l'essence et des lubrifiants, des automobiles et des avions, des matériaux de construction, des pneus et des tuyaux, y compris presque tout ce que nous mangeons, portons ou utilisons."
- citation de T.H. Janes.

TABLE DES MATIERES

	Page
INTRODUCTION	1
Objectif et portée de l'étude	1
Exploitation du soufre	1
Composés du soufre	2
STRUCTURE DE L'INDUSTRIE MONDIALE	3
Production	3
Consommation	4
Commerce	4
AMÉRIQUE DU NORD	9
Canada	10
États-Unis	12
Mexique	14
Mouvement du soufre sur le continent	14
PRÉVISION DE LA DEMANDE DE SOUFRE	15
Canada	19
Demande canadienne	19
États-Unis	21
Demande américaine	21
PRÉVISION DE LA PRODUCTION DE SOUFRE	23
Canada	23
États-Unis	25
BILAN DU SOUFRE EN AMÉRIQUE DU NORD	25
BILAN MONDIAL DU SOUFRE DE 1983 À 1991	27
LE SOUFRE ÉLÉMENTAIRE CANADIEN DANS LE COMMERCE INTERNATIONAL	27
Le rôle du Canada sur le marché	28
Enjeux et possibilités	30

	Page
CONTRÔLE DU BIOXYDE DE SOUFRE	32
Rentabilité de la récupération du bioxyde de soufre	33
Sous-produits	34
Recherche et développement	34
ANNEXE	
1. HISTORIQUE DU SOUFRE ET DE SES COMPOSÉS	37
Le procédé Frasch	38
L'industrie canadienne du soufre	38
Minerais métalliques sulfurés	43
Gaz de fusion	43
Consommation	46
2. PARAMÈTRES DE PRÉVISION	47
Production canadienne	47
Production américaine	47
Bilan du soufre	48

TABLEAUX

1.	Production mondiale de soufre sous toutes ses formes	6
2.	Consommation mondiale de soufre sous toutes ses formes	7
3.	Exportations de soufre élémentaire, par grand fournisseur	8
4.	Cansulex Limited - sociétés membres	10
5.	Prévision de la demande canadienne de soufre sous toutes ses formes, 1984-1991, scénario de forte demande	20
6.	Prévision de la demande canadienne de soufre sous toutes ses formes, 1984-1991, scénario de faible demande	20
7.	Prévision de la demande américaine de soufre sous toutes ses formes, 1984-1991	22
8.	Projection de la demande américaine de soufre en l'an 2000	22

TABLEAUX (Suite)

		Page
9.	Production canadienne de soufre à partir du gaz naturel, 1984-1991	24
10.	Production canadienne de soufre et d'acide sulfurique, 1984-1991	24
11.	Production américaine de soufre et d'acide sulfurique, 1984-1991	25
12.	Production canadienne excédentaire, 1984-1991	26
13.	Demande nette des Etats-Unis et disponibilité de soufre canadien, 1984-1991	26
14.	Canada: Usines d'extraction de soufre à partir de gaz naturel acide, 1982	40
15.	Capacité d'affinage du soufre au Canada, 1982	41
16.	Installations de mise en forme du soufre dans l'Ouest canadien	44

FIGURES

1.	Composés du soufre	2
2.	Consommation de soufre, toutes formes, 1981	5
3.	Soufre, toutes formes, approvisionnement par rapport à la consommation, 1982	11
4.	Soufre-acide sulfurique, approvisionnement par rapport à la consommation, 1982	13
5.	Répartition moyenne des exportations de soufre canadien aux Etats-Unis, 1975-1978	16
6.	Répartition des exportations de soufre canadien aux Etats-Unis, 1979	17
7.	Répartition des exportations de soufre canadien aux Etats-Unis, 1980	18
8.	Soufre élémentaire canadien, 1960-1990	29

INTRODUCTION

Objectif et portée de l'étude

A moyen et à long termes, le soufre sous toutes ses formes traversera des périodes de surapprovisionnement durant lesquelles les producteurs de sous-produits ne seront pas en meaure de recouvrer leurs coûts de production. Il traversera aussi des périodes d'approvisionnement difficile lorsque la vente du soufre obtenu comme sous-produit et de l'acide sulfurique engendrera des profits. Dans ces deux cas, les prix élevés des sous-produits encourageront les industries à récupérer les matières sulfureuses au lieu de les laisser s'échapper dans l'atmosphère ou de s'en débarrasser. Les gouvernements devraient considérer la valeur du soufre élémentaire, de l'acide sulfurique et d'autres sous-produits du soufre avant de prendre toute mesure de réglementation de nature environnementale.

La présente étude a pour objet de servir de source de renseignements sur le soufre canadien dans le contexte mondial.

Exploitation du soufre

Des venues de gisements exploitables de soufre, sous forme élémentaire ou combinée, sont réparties dans le monde entier. Il est difficile de mesurer les réserves de soufre, mais on admet généralement que les ressources mondiales totales sont de 1 000 à 10 000 fois plus élevées que la consommation annuelle courante. Un tiers de la production mondiale de soufre est récupérée à partir de gisements de soufre natif, et près d'un autre tiers l'est sous forme de soufre élémentaire résultant de la conversion de l'hydrogène sulfuré extrait du gaz naturel et du pétrole. Le reste est récupéré du bioxyde de soufre produit lors du grillage de la pyrite et de la fusion de divers minerais métalliques sulfurés. Dans ces cas-là, le soufre est récupéré sous forme d'acide sulfurique ou de bioxyde de soufre liquide et en petite quantité sous forme de soufre élémentaire. Parmi les autres sources d'acide sulfurique représentant une production de faible quantité figurent le gypse et l'anhydrite.

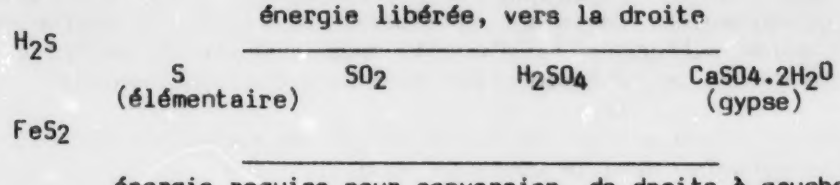
Le soufre élémentaire est préférable aux autres formes de soufre pour l'expédition et le stockage. Il est inerte, solide, et s'emmagasine facilement sans aucune protection. Une fois récupéré aux usines de gaz acide, il a une pureté supérieure à 99 %; il en résulte des coûts d'expédition beaucoup plus bas que ceux du transport des composés. Dans le cas de l'acide sulfurique, le rapport négatif est de 3 à 1, en ce sens qu'il ne contient qu'un tiers de soufre en poids.

Les deux plus grands pays industriels, les Etats-Unis et l'URSS, représentent à eux seuls plus de 40 % de la production et de la consommation de soufre sous toutes ses formes. Quant au Canada, il représente 13 % de la production mondiale et 3% de la consommation mondiale.

Composés du soufre

On peut démontrer les coûts et les avantages de la production de soufre élementaire (S) ou de composés du soufre provenant de différents composés se trouvant à l'état naturel d'après l'énergie qu'ils dégagent ou celle qui est nécessaire pour provoquer les changements chimiques nécessaires.

Figure 1



Comme le montre la figure 1, le soufre se présente à l'état réduit sous forme d'hydrogène sulfuré (H_2S récupéré avec le gaz naturel), et sous forme de pyrite (FeS_2, représentatif des sulfures métalliques). Il y a dégagement d'énergie, c'est-à-dire que l'oxydation du soufre produit de la chaleur utilisable; c'est ce que représente la flèche en direction de la droite. Dans les usines de gaz naturel, il y a donc production de chaleur lorsqu'on passe de H_2S au soufre élémentaire, soit S:

H_2S.....S
(élémentaire)

Dans les usines de fusion de métaux non ferreux, il y a production de chaleur pendant le grillage et la fusion du concentré; on passe de FeS_2 à SO_2:

FeS_2.....SO_2

Malheureusement, en brûlant le concentré, on dévie du stade du soufre élémentaire, et il faut un apport d'énergie, habituellement à un coût considérable, pour produire du soufre élémentaire à partir de SO_2. Dans le traitement hydrométallurgique des concentrés, le sous-produit est du soufre élémentaire, mais, comme nous l'expliquerons plus tard, il existe d'autres coûts associés à ces procédés.

Les coûts de production de l'acide sulfurique, à partir du soufre élémentaire ou du bioxyde de soufre, sont assez minimes, tandis que les coûts en capital peuvent être élevés.

S.....SO_2.....H_2SO_4

La combustion du soufre élémentaire en vue de la production de bioxide de soufre puis d'acide sulfurique en présence d'un catalyseur est à la base des deux tiers de la production mondiale d'acide sulfurique. Dans ce procédé, l'énergie dégagée par tonne (t) de soufre est équivalente à deux barils de pétrole et sert à la production de vapeur dans les usines d'acide du monde entier. Cette énergie rehausse la valeur du soufre élémentaire.

Au contraire, l'acide sulfurique dérivé du gypse (ou du sulfate de calcium synthétique) est un procédé coûteux, sauf dans les pays où l'énergie est très bon marché.

$$H_2SO_4 \ldots\ldots . CaSO_4.2H_2O$$

L'acide sulfurique (H_2SO_4, 32,7 % de soufre en poids) est le principal réactif utilisé par les industries des engrais et des produits chimiques, et représente 80 % de toute la consommation de soufre. Les deux tiers de cet acide sont produits par la combustion de quelque 30 millions de tonnes de soufre par an (t/a); au cours du procédé, il y a dégagement de quelque 10,5 millions de kilojoules d'énergie calorifique par t* de soufre. La quantité d'énergie récupérable équivaut à environ 45 millions de barils de pétrole par an, mais seule une faible fraction de cette source d'énergie est récupérée.

STRUCTURE DE L'INDUSTRIE MONDIALE

Production

La production de soufre sous toutes ses formes a totalisé entre 53 et 55 millions de t pour chacune des quatres dernières années. Dans une proportion de plus de 60 %, cette production était du soufre élémentaire à un stade ou à un autre et la majeure partie du reste de la production a été récupérée à l'état d'acide sulfurique, à partir de sulfures métalliques. La production de soufre élémentaire donnée au tableau 14 est constituée d'un sous-produit récupéré à partir du gaz naturel et du raffinage du pétrole (53 %), de la production selon le procédé Frasch** (41 %) et de l'extraction classique de soufre (4 %).

Quatre pays produisent 63 % de la totalité du soufre sous toutes ses formes, soit les États-Unis, l'URSS, le Canada et la Pologne. En URSS, plus de 60 % de la production proviennent de sulfures métalliques, tandis que pour les trois autres pays, la production se fait surtout à partir du soufre élémentaire.

---

* Approximativement 9 millions de Btu par t.

** Nommé d'après Hermann Frasch, l'inventeur du procédé de fusion du soufre in-situ et de pompage à la surface.

Consommation

La consommation mondiale de soufre sous toutes ses formes au cours des quatre dernières années, avec 54 à 56 millions de t/a, a dépassé la production d'une quantité cumulative de 5 millions de t; l'écart a été compensé par des prélèvements à même les stocks, surtout ceux de l'Alberta. La consommation d'acide sulfurique est, depuis plus d'un siècle, un indicateur du niveau de l'activité industrielle et les principales zones consommatrices sont, bien entendu, l'Amérique du Nord et l'Europe.

L'importance de la production d'engrais dans le bilan de l'offre et de la demande est montrée à la figure 2, adaptée de données publiées par la The British Sulphur Corporation Limited. La croissance des industries des engrais en Amérique du Nord et en Amérique latine sera vraisemblablement le seul changement important dans le régime de la consommation au cours de la prochaine décennie.

Commerce

Comme le montrent les tableaux 1 et 2, les deux plus grands producteurs de soufre, soit les États-Unis et l'URSS, sont aussi les deux plus grands consommateurs, et ce sont tous deux des importateurs nets de soufre. En raison de leur importance, une faible variation de leur bilan de l'offre et de la demande intérieures peut avoir d'importantes répercussions sur le commerce mondial. On constate d'importants excédents de soufre pour le Canada, la Pologne, le Mexique et, avant 1981, pour l'Iran et l'Iraq. Ces cinq pays, ainsi que les États-Unis et la France qui se livrent à l'importation et à l'exportation sur une grande échelle, sont les principaux exportateurs de soufre. Dans le commerce, le soufre se présente surtout sous forme élémentaire (tableau 3).

Les principaux importateurs sont les pays de l'Europe de l'Ouest, l'Afrique du Sud, le Maroc, la Tunisie, l'Inde et la Corée du Sud, l'Australie et le Brésil.

La Pologne exporte surtout vers l'Europe de l'Est et l'Europe de l'Ouest et vers l'Afrique du Nord. Les exportations de soufre de la Pologne à destination du Brésil devraient augmenter, ce qui aidera le Brésil à redresser sa balance commerciale avec la Pologne en ce qui concerne d'autres produits et ce qui aidera aussi la Pologne à payer en nature sa dette envers le Brésil. En Afrique du Nord, la Pologne s'est montrée un vendeur dynamique et prendra vraisemblablement de l'expansion sur ce marché. En Pologne, la production de soufre sous forme élémentaire se fait surtout dans les mines de type Frasch. Il est prévu de continuer la mise en valeur des mines de type Frasch pour remplacer les vieilles mines et les mines à ciel ouvert au fur et à mesure de leur épuisement. A moyen et à long termes, la croissance de la production sera plutôt lente, mais les exportations aux pays occidentaux augmenteront ou diminueront

FIGURE 2

CONSOMMATION DU SOUFRE TOUTES FORMES 1981

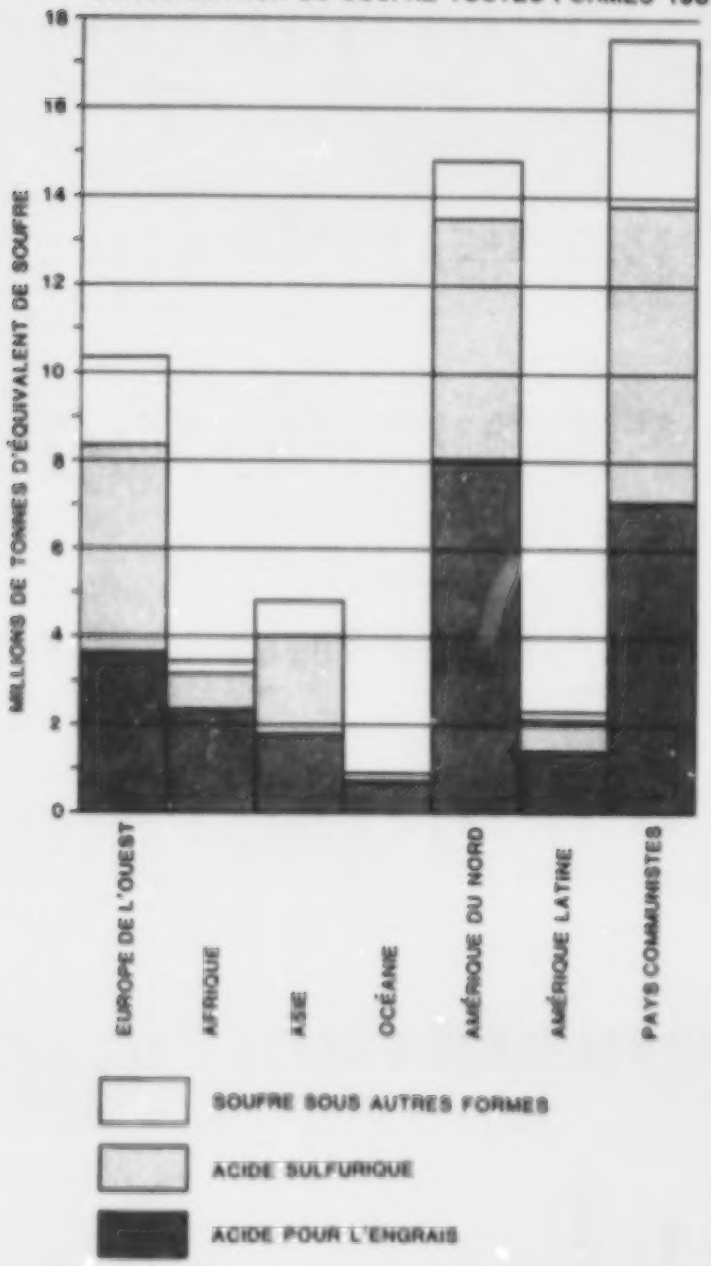


TABLEAU 1

Production mondiale de soufre sous toutes ses formes

	1979		1980		1981	
	Toutes formes	Soufre élémentaire	Toutes formes	Soufre élémentaire	Toutes formes	Soufre élémentaire
	(en milliers de t de soufre/soufre équivalent)					
Total mondial	54 120	34 429	54 626	34 661	53 856	33 482
Monde occidental	35 695	25 529	35 611	25 397	35 108	24 676
Europe de l'Ouest	7 658	3 664	7 795	3 694	7 654	3 610
Finlande	403	34	406	40	458	45
France	2 294	2 121	2 225	2 058	2 127	1 970
Allemagne de l'Ouest	1 692	1 048	1 771	1 089	1 813	1 109
Italie	561	56	580	71	516	78
Norvège	180	7	248	8	266	8
Espagne	1 158	16	1 222	18	1 199	20
Suède	312	36	315	48	311	37
Autres	1 058	346	1 028	362	964	343
Afrique	826	44	875	44	954	38
Asie	4 380	2 525	4 403	2 480	4 004	2 043
Iran	244	244	226	226	6	6
Iraq	762	762	491	491	145	145
Japon	2 818	1 189	2 820	1 151	2 706	1 041
Autres	556	330	866	612	1 147	851
Océanie	211	14	181	14	185	14
Amérique du Nord	19 665	16 782	19 659	16 708	19 618	16 532
Canada	7 022	6 355	7 140	6 245	6 828	5 925
Etats-Unis	12 843	10 427	12 519	10 463	12 790	10 607
Amérique latine [1]	2 739	2 499	2 590	2 457	2 693	2 439
Mexique	2 230	2 120	2 212	2 102	2 136	2 052
Autres	509	379	378	355	557	387
Pays communistes [2]	18 425	8 900	19 015	9 264	18 748	8 806
Pologne	5 093	4 830	5 364	5 164	4 922	4 773
URSS	9 506	3 740	9 672	3 778	9 501	3 710
Autres	3 826	330	3 979	322	4 325	323

Source: The British Sulphur Corporation Limited.
[1] Amérique latine, excepté Cuba.
[2] Les totaux comprennent: la Chine, la Corée du Nord, le Vietnam, Cuba et les autres pays de l'Europe de l'Est.

TABLEAU 2

Consommation mondiale de soufre sous toutes ses formes

	1979	1980	1981
	(en milliers de t de soufre/équivalent soufre)		
Total mondial	54 894	55 708	54 256
Monde occidental	38 059	38 558	36 681
Europe de l'Ouest	11 499	10 882	10 376
Belgique	869	822	788
Finlande	435	442	454
France	1 979	1 929	1 720
Allemagne de l'Ouest	1 856	1 766	1 667
Grèce	451	433	355
Italie	1 401	1 263	1 050
Pays-Bas	628	632	633
Espagne	1 250	1 295	1 240
Suède	331	298	352
Royaume-Uni	1 287	1 249	1 120
Autres	1 012	753	997
Afrique	2 982	3 121	3 445
Maroc	652	681	841
Afrique du Sud	1 187	1 356	1 346
Tunisie	508	715	760
Autres	635	369	498
Asie	4 913	5 043	4 853
Inde	1 100	1 022	1 032
Japon	2 396	2 512	2 420
Corée du Sud	561	609	464
Autres	856	900	937
Océanie	1 042	1 054	921
Australie	786	805	730
Nouvelle-Zélande	246	249	187
Amérique du Nord	15 411	15 999	14 802
Canada	1 708	1 899	1 797
États-Unis	13 703	14 100	13 005
Amérique latine[1]	2 212	2 459	2 284
Brésil	800	1 044	838
Mexique	943	951	993
Autres	469	464	453
Pays communistes[2]	16 835	17 150	17 575
Europe de l'Est	3 931	4 048	4 033
URSS	9 607	9 866	10 265
Autres	3 297	3 236	3 277

Source: The British Sulphur Corporation Limited.

1 Amérique latine, excepté Cuba.

2 Les totaux comprennent la Chine, la Corée du Nord, le Vietnam, Cuba et les autres pays de l'Europe de l'Est.

TABLEAU 3

Exportations de soufre élémentaire par grand fournisseur

	1979					1980					1981				
	Etats-Unis	Mexique	Canada	France	Pologne	Etats-Unis	Mexique	Canada	France	Pologne	Etats-Unis	Mexique	Canada	France	Pologne
	(en milliers de t)														
Total mondial	1 896	1 195	5 439	1 295	3 874	1 613	1 129	6 797	1 069	3 917	1 392	1 194	7 137	952	3 817
Monde occidental	1 851	1 195	5 112	1 295	2 108	1 555	1 089	6 445	1 069	2 031	1 173	1 020	6 595	952	1 932
Europe de l'Ouest	1 019	193	736	1 011	1 621	882	211	895	813	1 654	752	257	642	711	1 295
Belgique	349	-	55	82	55	277	-	55	39	22	250	-	42	47	22
France	161	42	77	-	474	144	46	150	-	447	66	5	128	-	357
Allemagne de l'Ouest	90	-	79	15	238	80	-	89	8	234	82	-	85	2	171
Grèce	57	-	30	71	199	-	-	40	75	227	15	-	30	46	164
Italie	68	-	360	143	91	-	-	402	111	120	-	-	265	81	76
Pays-Bas	155	-	-	121	90	164	-	-	111	68	149	-	-	97	66
Royaume-Uni	139	134	135	389	351	214	125	160	287	353	170	121	92	257	288
Autres	-	17	-	190	125	4	40	-	182	183	20	131	-	181	151
Afrique	254	-	1 130	277	573	326	-	1 479	256	293	91	5	1 604	241	444
Afrique du Sud	61	-	659	-	-	112	-	824	-	-	16	-	559	-	-
Tunisie	-	-	161	168	99	35	-	327	185	85	-	-	443	150	178
Autres	193	-	310	109	274	179	-	328	71	208	75	5	602	91	266
Asie	245	17	921	5	51	49	83	900	-	36	172	90	1 187	-	58
Inde	214	17	300	-	50	49	83	156	-	14	161	90	462	-	57
Corée du Sud	-	-	254	-	-	-	-	277	-	-	6	-	202	-	-
Taiwan	-	-	240	-	-	-	-	293	-	-	-	-	199	-	-
Autres	31	-	127	5	1	-	-	174	-	22	5	-	324	-	1
Océanie	96	-	573	-	-	33	-	913	-	-	1	-	775	-	-
Australie	96	-	328	-	-	33	-	638	-	-	1	-	568	-	-
Nouvelle-Zélande	-	-	245	-	-	-	-	275	-	-	-	-	202	-	-
Autres	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-
Amérique du Nord	8	952	1 265	-	-	2	741	1 517	-	-	11	655	1 666	-	-
Canada	8	-	-	-	-	2	-	-	-	-	11	-	-	-	-
Etats-Unis	-	952	1 265	-	-	-	741	1 517	-	-	-	655	1 666	-	-
Amérique Centrale	21	8	-	-	-	33	5	-	-	-	57	6	5	-	-
Amérique du Sud	189	23	488	-	63	230	49	741	-	48	89	8	716	-	135
Brésil	120	21	380	-	-	123	45	637	-	48	51	8	554	-	135
Autres	69	2	108	-	63	107	4	104	-	-	38	-	162	-	-
Pays communistes	65	-	327	-	1 766	59	40	352	-	1 886	219	174	542	-	1 885
Tchécoslovaquie	5	-	-	-	443	-	-	-	-	440	-	-	-	-	458
Hongrie	-	-	-	-	140	-	-	21	-	153	-	-	-	-	139
Autres	60	-	327	-	1 184	59	40	331	-	1 293	219	174	542	-	1 288

Source: The British Sulphur Corporation Limited.

selon la demande de l'URSS et des autres pays membres du COMECON. A la fin des années 80, on peut s'attendre à une remontée des exportations vers l'Ouest lorsque le champ de gaz de l'Astrakhan sera mis en production en URSS et que les expéditions vers ce pays seront réduites.

La France a des clients traditionnels en Afrique du Nord, mais avec l'épuisement progressif du soufre dans le champ de gaz de Lacq (première source de soufre en France), le rôle de ce pays dans le commerce international du soufre devrait diminuer.

Au Mexique, la situation est beaucoup moins simple. La politique de promotion de l'autarcie a incité les investissements dans le phosphate et le soufre de type Frasch, étant donné qu'ils sont nécessaires pour l'industrie des engrais. En outre, la récupération du soufre à partir du gaz naturel acide a pris de l'importance. Comme l'offre et la demande intérieures ont progressé en même temps, les exportations du Mexique se sont stabilisées au cours des dernières années. Cependant, les récentes diminutions de la production de roche phosphatée signalent peut-être une augmentation à court terme de l'offre de soufre excédentaire et donc, des exportations. A moyen et à long termes, les perspectives pour le Mexique consistent à maintenir les exportations aux clients traditionnels aux niveaux précédents.

L'Arabie Saoudite est une nouvelle source importante de soufre élémentaire; elle produit du soufre dans trois usines et, lorsque les expéditions ont commencé en mars 1982, ses réserves étaient de 1,4 million de t. Actuellement, les exportations s'élèvent à 800 000 t/a et le potentiel à moyen terme est d'environ 1,5 million de t/a.

L'agitation continuelle en Iran et en Iraq a maintenu les exportations de ces pays à une faible fraction du potentiel. Une fois le conflit résolu, on peut s'attendre à ce que l'Iraq fournisse près d'un million de t/a à long terme et que l'Iran fournisse 500 000 t.

AMERIQUE DU NORD

Le commerce international du soufre se fait à plusieurs niveaux. L'expédition de soufre élémentaire sous forme solide s'effectue dans le monde entier, alors que certaines autres expéditions ne parcourent que la moitié du globe.

Le commerce du soufre élémentaire en fusion est plus restreint en raison des limitations imposées par l'usage d'équipement spécial de transport comme des wagons-citernes équipés d'un dispositif de traçage à la vapeur pour le transport ferroviaire et des navires-citernes spéciaux pour le transport maritime. Le transport ferroviaire sert au commerce en Europe et en Amérique du Nord. Le commerce maritime du soufre en fusion s'effectue dans le cas des expéditions du Mexique vers le Sud-Est des États-Unis et pour une partie des expéditions du Mexique et des États- Unis vers l'Europe.

TABLEAU 4

CANSULEX LIMITED

Sociétés membres

Société d'Exploration BP du Canada Limitée
Canadian Occidental Petroleum Ltd.
Canadian Reserve Oil and Gas Ltd.
L'Énergie Canterra Ltée
Champlin Petroleum Company
Chevron Standard Limited
Dome Petroleum Limited
Gulf Canada Limitée
Hamilton Brothers Canadian Gas Company Ltd.
Home Oil Company Limited
Hudson's Bay Oil and Gas Company Limited
Husky Oil Operations Ltd.
Interedec (USA) Inc.
Mobil Oil Canada, Ltd.
Ressources énergétiques Norcen Limitée
The Paddon Hughes Development Co. Ltd.
Petrogas Processing Ltd.
Union Oil Company of Canada Limited

Le transport de la pyrite et de l'acide sulfurique qui ne contiennent respectivement que 50 % et 32,7 % de soufre, est encore plus restreint. La majeure partie du commerce de ces produits se fait dans le même continent.

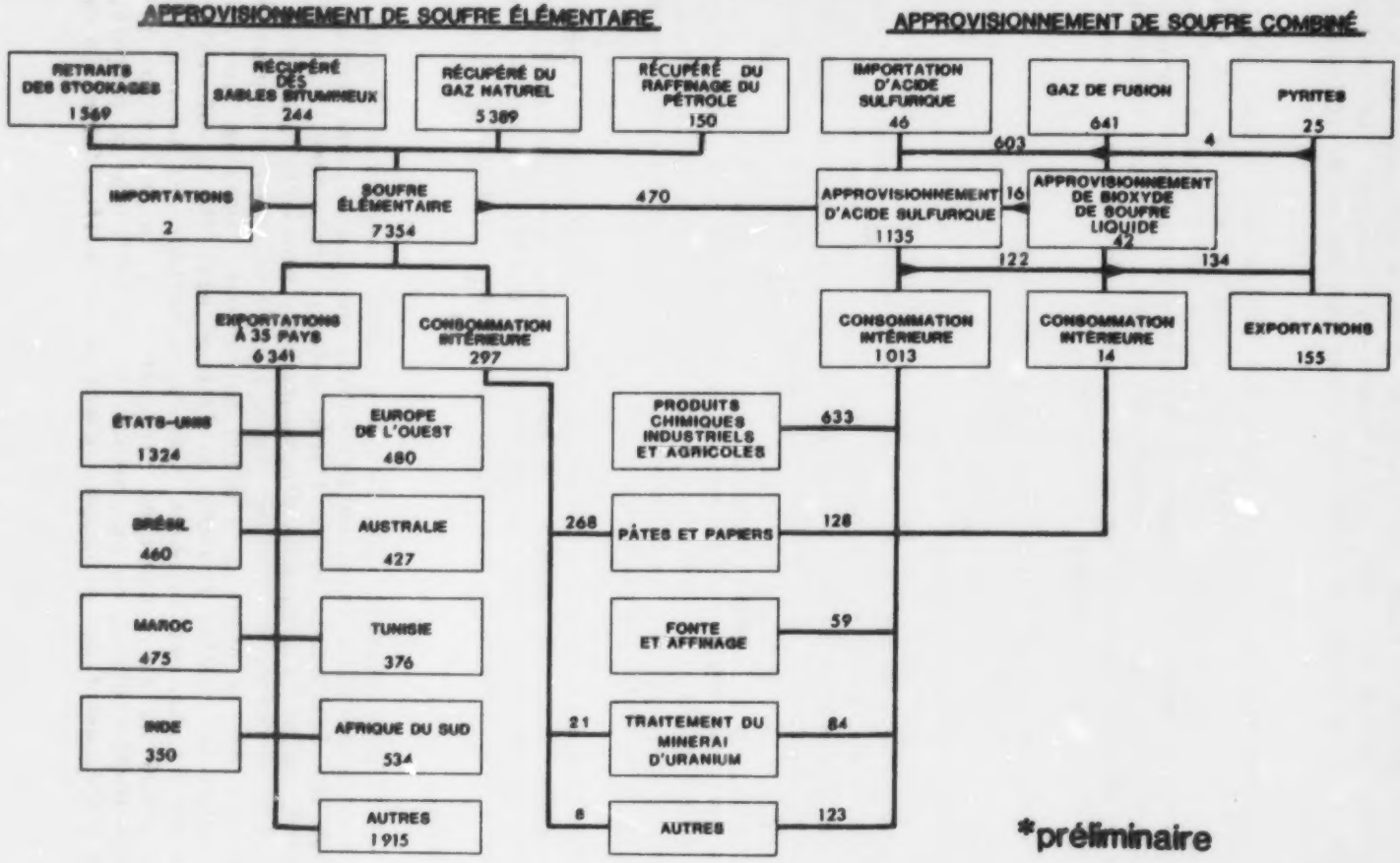
Lorsque l'on considère le soufre sous toutes ses formes, le continent nord-américain constitue un marché distinct où s'échangent l'acide sulfurique, le soufre en fusion et la pyrite, isolé dans une certaine mesure du marché mondial dont fait l'objet le soufre élémentaire solide.

Canada

Au Canada, la plus grande quantité de soufre provient des usines de gaz naturel et des stocks de réserves associés aux exportations (figure 3). La majeure partie de ce soufre est expédiée à partir de Vancouver et il s'agit en totalité de soufre élémentaire sous forme "perlée", de granules ou de plaques. Plus de la moitié du soufre exporté outre-mer est acheminée par la Cansulex Limited, organisme de commercialisation outre-mer qui représente 18 sociétés (tableau 4). Malgré la prédo-

FIGURE 3

SOUFRE TOUTES FORMES, APPROVISIONNEMENT PAR RAPPORT À LA CONSOMMATION, 1982
(en milliers de tonnes d'équivalent soufre)*



*préliminaire

minance des ventes outre-mer, les États-Unis absorbent plus de soufre que tout autre pays. Leurs importations arrivent dans plusieurs ports douaniers, surtout sous forme de soufre élémentaire liquide. Grâce à la rationalisation du réseau de transport jusqu'à Vancouver au cours des huit dernières années et grâce aux économies introduites par le transport du soufre liquide jusqu'aux États-Unis, ces réseaux de distribution fonctionnent bien.

Une certaine quantité de soufre est brûlée dans l'Ouest du Canada pour produire de l'acide sulfurique. La majeure partie de cet acide sert à l'industrie des engrais, mais l'industrie de l'uranium en Saskatchewan représente un marché croissant. L'industrie des pâtes et papiers est aussi un grand consommateur. Le bioxyde de soufre et l'acide sulfurique servent à la production de pâtes et au blanchiment de la pâte à papier dans le procédé Kraft et le procédé au bisulfite.

Après le gaz naturel et les stocks de réserves de soufre élémentaire, les gaz de fusion sont la troisième source de soufre. Bien que l'Inco Limitée ait déjà produit du soufre élémentaire à Thompson et malgré le programme hydrométallurgique actuel de l'usine de fusion de la Cominco à Trail, presque toute la production de soufre tirée des concentrés de sulfures canadiens est oxydée et se dégage dans l'atmosphère sous forme de bioxyde de soufre ou est récupérée à l'état de bioxyde de soufre liquide ou d'acide sulfurique. Le bioxyde de soufre liquide est soit converti en acide sulfurique pour l'usage de l'industrie des pâtes et papiers, soit vendu aux États-Unis. Le marché de l'acide sulfurique est dominé par l'industrie des engrais (classifiée à la figure 3 parmi les produits industriels et agricoles par souci de cohérence avec les définitions de Statistique Canada). Une faible quantité de soufre est récupérée sous forme élémentaire par la Cominco, et la Sherritt Gordon Mines Limited produit du sulfate d'ammonium.

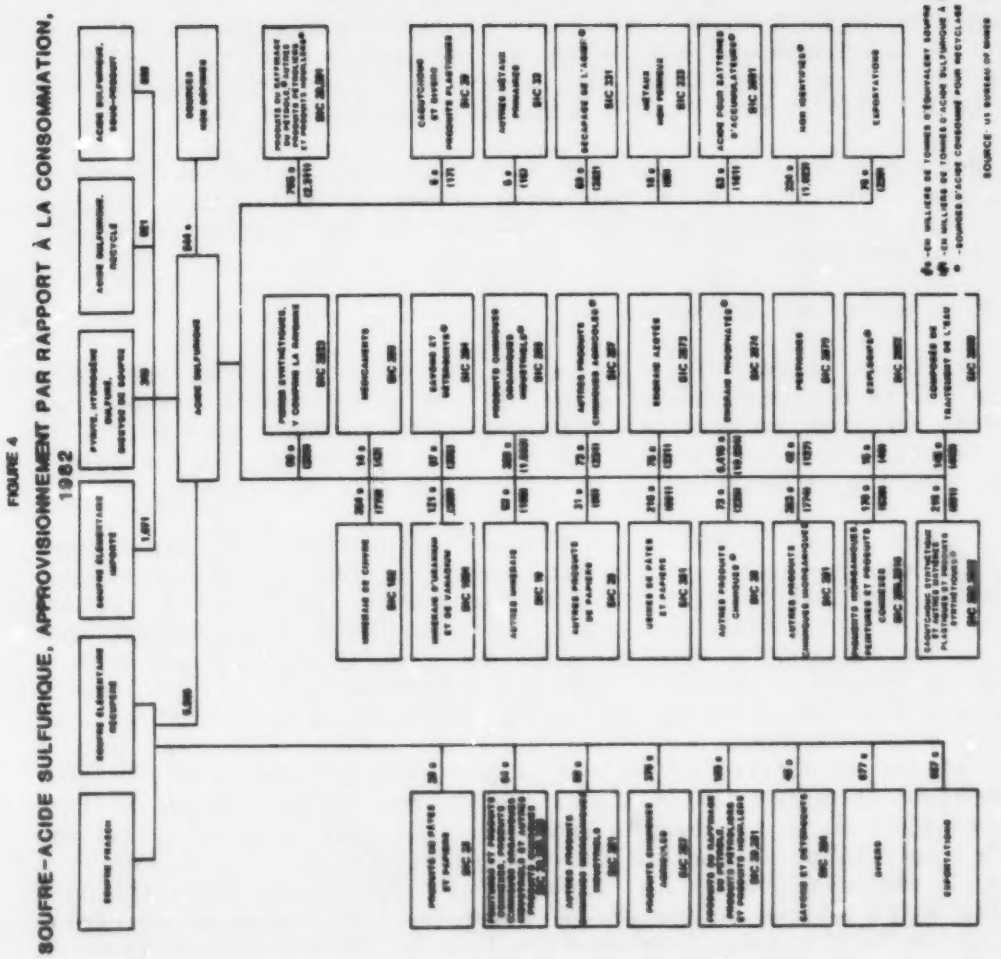
Le potentiel apparent de croissance des principaux marchés existants est faible, mais il existe des perspectives d'expansion du marché aux États-Unis et aussi des perspectives d'utilisation d'une plus grande quantité d'acide dans le traitement du minerai d'uranium.

États-Unis

Une figure produite par le gouvernement américain (figure 4) montre que, contrairement à la situation canadienne, la majeure partie du soufre produit aux États-Unis est utilisée dans le pays même. La plus grande quantité, selon le diagramme d'acheminement, provient du procédé Frasch et du soufre récupéré, et s'étend jusqu'à la production d'engrais phosphatés en passant par le stade de l'acide sulfurique. Dans le passé, la production selon le procédé Frasch, du fait qu'elle était volontaire, pouvait augmenter ou diminuer selon la demande du secteur des engrais. Cependant, étant donné qu'une proportion croissante de la production provient de sources involontaires, du gaz naturel et du raffinage du pétrole, et étant donné l'épuisement des principaux dômes de sel sulfurifères, la capacité du

FIGURE 4

SOUFRE-ACIDE SULFURIQUE, APPROVISIONNEMENT PAR RAPPORT À LA CONSOMMATION, 1982



système à réagir aux variations de la demande diminue progressivement. En juin 1982, la production et les expéditions de soufre récupéré ont dépassé, pour la première fois, la production et les expéditions de soufre produit selon le procédé Frasch.

Mexique

Presque toute la production mexicaine de soufre est constituée de soufre élémentaire. La production selon le procédé Frasch a culminé à 1,79 million de t en 1979 et a chuté à 1,1 million de t en 1983 malgré l'ouverture d'une nouvelle mine en 1981. Le soufre récupéré du gaz naturel et du raffinage du pétrole représente, depuis plusieurs années, plus de 400 000 t et devrait augmenter à moyen terme. Les livraisons domestiques ont régulièrement augmenté à mesure que le Mexique essayait d'atteindre l'autarcie dans la production d'engrais. En conséquence, les exportations sont tombées de 1,3 million de t en 1978 à moins de 950 000 t en 1983.

Le Mexique devrait poursuivre ses ventes traditionnelles au marché du Sud-Est des États-Unis, mais les exportations à destination d'autres régions chuteront vraisemblablement à mesure que la demande intérieure continuera d'augmenter.

Mouvement du soufre sur le continent

Il existe au Canada 50 usines de traitement de gaz acide qui récupèrent du soufre et, dans chaque usine, le gaz appartenant à une douzaine de sociétés ou plus est traité, chaque société détenant une partie du produit final. Dans une proportion de 65 %, le soufre est expédié à travers les montagnes Rocheuses jusqu'à Vancouver pour exportation.

La Sultran Ltd., créée en 1976 pour rationaliser les expéditions outre-mer de soufre (quelque 5,5 millions de t en 1981), fonctionne comme une société pipelinière; elle est détenue par 19 sociétés et dessert 13 usines de traitement de gaz acide. Les services de la Sultran sont offerts aux non-membres, au même tarif que celui qui s'applique aux actionnaires de la société. Au cours des cinq dernières années, la Sultran a négocié, au nom de ses clients, des tarifs ferroviaires avec le CN et avec le CP; elle a coordonné des expéditions de trains unitaires jusqu'à Vancouver et mis en service 680 de ses propres wagons-tombereaux à caisse, ce qui explique en grande partie l'amélioration du matériel roulant utilisé pour le transport du soufre jusqu'à Vancouver. En janvier 1982, la Sultran a pris le contrôle de la Pacific Coast Terminals Co. Ltd., l'un des deux terminaux de Vancouver chargés de la manutention du soufre. On s'attend à ce que les améliorations du système de déversement de wagons et du réseau de voies de la Pacific Coast Terminals (Port Moody) raccourcissent la durée de l'aller et retour des trains. La Sultran démontre son efficacité en effectuant près de 100 % du commerce du soufre de l'Alberta jusqu'à Vancouver.

Les expéditions via Prince Rupert (Colombie-Britannique) étaient d'environ 200 000 t, essentiellement des granules, en 1981.

Quelque 2,5 millions de t de soufre en 1981 (2,1 millions de t en 1982) n'ont pas été expédiées outre-mer, mais ont été acheminées par camion et par train jusqu'à des points situés au Canada et aux États-Unis. Plus de la moitié de cette quantité a été expédiée sous forme de soufre en fusion aux États-Unis, par chemin de fer. La logistique comprenait plusieurs producteurs et propriétaires de stocks de soufre à chacune des usines de traitement de gaz acide. Quelques membres de l'industrie estiment qu'il serait possible de réduire les coûts en faisant affaire avec un seul agent comme la Sultran qui s'occuperait de la logistique et des négociations avec les chemins de fer pour expédier le soufre jusqu'aux États-Unis.

Le soufre est expédié en vrac, sous forme liquide ou autre, par camion et par train depuis les lieux de production jusqu'à sa destination finale, en Amérique du Nord. Les ventes sont négociées entre le producteur et le consommateur pour de longues périodes ou pour des envois ponctuels. Les exportations aux États-Unis se sont maintenues à un niveau assez stable, soit entre 1 million et 1,2 million de t pendant une décennie. L'Illinois, l'Ohio, la Pennsylvanie et l'État de New York constituent des zones stables de marché (figures 5, 6 et 7). On a constaté une croissance des marchés du soufre canadien dans l'Idaho, en Iowa, en Floride, en Virginie, dans la Virginie de l'Ouest, dans l'État de Washington et en Louisiane. Les expéditions de soufre canadien dans l'Idaho sont bien plus élevées que dans n'importe quel État et le marché dans cet État dépend d'un petit nombre de consommateurs.

Au Canada, le marché du soufre élémentaire se chiffre à quelque 850 000 t/a, dont la moitié demeure en Alberta pour la fabrication d'engrais. Le soufre est en grande partie expédié sous forme liquide, par camion.

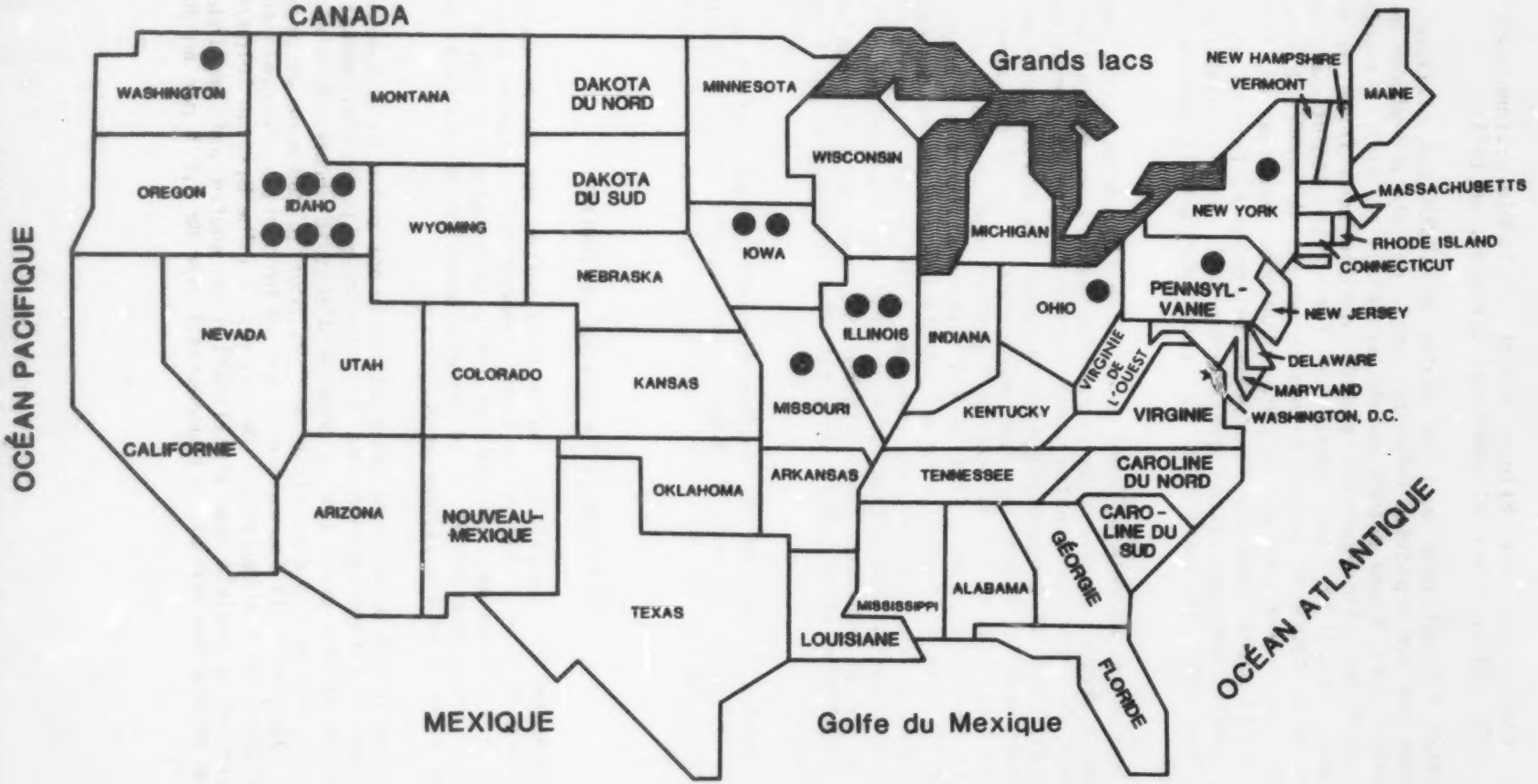
PRÉVISION DE LA DEMANDE DE SOUFRE

La consommation mondiale de soufre sous toutes ses formes a culminé à 55,7 millions de t en 1980, après trente années de croissance à un rythme cumulatif de 5,5 % par an. En 1981 et 1982, la demande a chuté, spécialement dans le monde occidental où la demande annuelle de soufre élémentaire uniquement a chuté de 4 millions de t.

La plupart des organismes internationaux ont prévu un redressement de la situation. L'Organisation des Nations-Unies pour l'alimentation et l'agriculture (OAA) a prévu que la demande d'engrais phosphatés s'élèverait à 39,68 millions de t d'équivalent de P_2O_5 pour la campagne de production d'engrais 1986-1987. Il faudrait donc que la production d'engrais augmente de 5,6 millions de t d'équivalent de soufre. La The British Sulphur Corporation Limited a projeté que l'utilisation de soufre par les industries autres que celles des engrais n'augmenterait que de 0,9 % par an jusqu'en

FIGURE 5

RÉPARTITION MOYENNE DES EXPORTATIONS DE SOUFRE CANADIEN AUX ÉTATS-UNIS, 1975-1978



● CINQUANTE MILLE TONNES DE SOUFRE ÉLÉMENTAIRE CADADIEN

FIGURE 6

RÉPARTITION DES EXPORTATIONS DE SOUFRE CANADIEN AUX ÉTATS-UNIS, 1979

● CINQUANTE MILLE TONNES DE SOUFRE ÉLÉMENTAIRE CANADIEN

FIGURE 7

RÉPARTITION DES EXPORTATIONS DE SOUFRE CANADIEN AUX ÉTATS-UNIS, 1980

● CINQUANTE MILLE TONNES DE SOUFRE ÉLÉMENTAIRE CANADIEN

1980 dans les pays industrialisés de l'Ouest ainsi que de 3,5 % par an et de 3,4 % par an, respectivement, dans les pays en développement et les pays communistes. Pour l'usage des engrais, cet organisme a prévu que la demande de soufre croîtrait de 3,5 % par an jusqu'en 1990 dans le monde occidental et de 4,2 % dans le bloc communiste. Ces taux entraîneraient une croissance mondiale de la consommation de 14,3 millions de t d'engrais jusqu'en 1990 par rapport au niveau maximal précédent de 1980, malgré la forte chute de la consommation du monde occidental en 1981 et 1982.

Canada

Les tableaux 5 et 6 montrent que la demande de soufre augmentera au Canada et que le taux de croissance dépendra surtout de l'expansion de l'industrie des engrais. La capacité additionnelle de production d'engrais jusqu'à ce niveau de consommation élevé est soit projetée, soit en construction, mais l'utilisation de cette capacité dépendra en grande partie du niveau de concurrence établi par les producteurs américains d'engrais.

Demande canadienne

La consommation d'acide sulfurique pour la production d'engrais au Canada est directement reliée à l'importation de roche phosphatée. A l'aide de données obtenues de 1961 à 1981, des projections ont été faites relativement aux importations de roche phosphatée et à la consommation probable d'acide sulfurique. On a présumé qu'en moyenne, une quantité de 0,22 t d'équivalent de soufre d'acide sulfurique serait utilisée pour la digestion d'une tonne de roche phosphatée.

Dans l'industrie des pâtes et papiers, il existe trois grands procédés de fabrication de pâte à bois: le procédé de la pâte mécanique, le procédé Kraft et le procédé au sulfite. Le procédé au sulfite utilise davantage de bioxyde de soufre par tonne de produit que le procédé Kraft qui, à son tour, en utilise davantage que le procédé de la pâte mécanique. La croissance de l'industrie tout entière a été évaluée entre 1,5 et 2 % et la proportion de pâte au sulfite devrait diminuer. Dans ces conditions, un taux de croissance nul pour la consommation de bioxyde de soufre a été présumé, avec des variations annuelles de 350 000 à 500 000 t d'équivalent de soufre.

La consommation d'acide sulfurique dans le traitement du minerai d'uranium varie de 0,01 à 0,4 t par tonne de minerai, selon la qualité et la minéralogie. Toutes les mines du Canada ont été analysées du point de vue de leur capacité de production prévue et une prévision de la production de minerai a été effectuée, en fonction des contrats existants d'uranium, et compte tenu d'une faible déduction pour les nouveaux contrats. Les mines d'Agnew Lake, de Beaverlodge et de Madawaska ont fermé en 1982. La mine de Cluff Lake devrait atteindre l'échelle commerciale et les mines de Key Lake et de Stanleigh devraient ouvrir avant 1985. En fonction de ces hypothèses, la consommation d'acide sulfurique devrait doubler de 1982 à 1986, et continuer au niveau le plus élevé jusque dans les années 90.

TABLEAU 5

Prévision de la demande canadienne de soufre sous toutes ses formes, 1984-1991
Scénario de forte demande

Année	Importations de roche phosphatée	Demande de soufre, industrie des engrais*	Demande de soufre, industrie des pâtes et papiers	Demande de soufre, industrie de l'uranium	Autres fins	Totaux
			(en milliers de t)			
1984	3 971	873	500	111	777	2 261
1985	4 103	903	500	143	805	2 351
1986	4 235	932	500	164	832	2 428
1987	4 366	961	500	164	860	2 485
1988	4 498	990	500	164	887	2 541
1989	4 630	1 019	500	164	915	2 598
1990	4 762	1 048	500	164	942	2 654
1991	4 894	1 077	500	164	970	2 711

* D'après les importations de roche phosphatée qui devraient atteindre 4,9 millions de t d'ici 1991.

TABLEAU 6

Prévision de la demande canadienne de soufre sous toutes ses formes, 1984-1991
Scénario de forte demande

Année	Importations de roche phosphatée	Demande de soufre, industrie des engrais*	Demande de soufre, industrie des pâtes et papiers	Demande de soufre, industrie de l'uranium	Autres fins	Totaux
			(en milliers de t)			
1984	3 265	718	350	111	572	1 751
1985	3 287	723	350	143	593	1 809
1986	3 305	727	350	164	614	1 855
1987	3 321	731	350	164	636	1 881
1988	3 335	734	350	164	657	1 905
1989	3 347	736	350	164	678	1 928
1990	3 357	739	350	164	699	1 952
1991	3 366	741	350	164	720	1 975

* Tableaux 5 et 6

L'écart entre la prévision de faible demande et celle de forte demande pour la prochaine année (1984) est de 510 000 t. La prévision jusqu'en 1991 montre une augmentation d'environ 500 000 t (forte demande) et de 220 000 t (faible demande).

La consommation annuelle de soufre pour la fusion et l'affinage et pour d'autres usages a été irrégulière au cours des vingt dernières années, mais une tendance à la croissance de l'ordre de 21 000 à 27 000 t/a a été établie à l'aide d'une moyenne mobile de trois ans.

États-Unis

Le taux de croissance de la demande de soufre sous toutes ses formes aux États-Unis, calculé à partir des analyses figurant à l'annexe II, a permis d'arriver à la prévision du tableau 7 et est quelque peu moins élevé que celui qu'a établi John Shelton de l'U.S. Bureau of Mines (USBM) en 1981 et ne tient pas compte de nouveaux usages comme l'asphalte additionné de soufre et le béton au soufre. Un scénario de forte demande, comme celui qu'a établi John Shelton, est donné au tableau 8.

Demande américaine

La consommation d'acide sulfurique dans la production d'engrais phosphatés aux États-Unis, que ce soit pour l'exportation ou pour la consommation intérieure, est directement reliée à la consommation de roche phosphatée. En fonction de données enregistrées de 1960 à 1981, une analyse de régression linéaire relativement à la consommation de roche phosphatée a donné, dans le test de corrélation, un coefficient r^2 de 0,9432. La consommation de soufre par tonne de roche a constamment grimpé pendant sept ans de 0,18 à 0,22 t de soufre à mesure que la qualité moyenne de la roche phosphatée déclinait de 0,322 P_2O_5 à 0,317 P_2O_5. En ce qui concerne la consommation continue de soufre, le taux de la variation n'a pu être prévu en fonction des données disponibles.

La projection de la demande américaine qui a été obtenue à l'aide d'une analyse de régression "Gompertz" effectuée sur les données enregistrées de 1960 à 1981 (coefficient r^2 de 0,9553) est très semblable à l'analyse linéaire. La consommation projetée de roche phosphatée a été de 52 349 650 t et de 51 859 170 t pour l'analyse linéaire et l'analyse "Gompertz", respectivement, pour 1991. La dernière projection a été utilisée dans le tableau 7 relatif à la demande américaine.

La croissance de la demande de soufre et l'acide sulfurique par les industries du raffinage du pétrole et d'autres industries, mis à part l'industrie des engrais, a été rapide jusqu'en 1969, puis est demeurée plus ou moins stable jusqu'en 1977 en dépit de la croissance de l'économie américaine tout entière. Depuis 1977, la consommation annuelle a oscillé de façon irrégulière tandis que le climat économique stimulait la croissance dans ce secteur jusqu'en 1979; par la suite, cette croissance a décliné. Le potentiel de croissance a été montré en 1978 et en 1979 et, si l'on analyse la tendance sur vingt ans, on peut constater un taux de croissance de quelque 82 000 t/a de soufre. Les projections établies sur cette base sont incorporées dans la demande américaine.

TABLEAU 7

Prévision de la demande américaine de soufre sous toutes ses formes, 1984-1991

Année	Consommation de roche phosphatée	Demande de soufre, industrie des engrais	Autres Fins	Total
		(en milliers de t)		
1984	44 022	9 685	5 283	14 968
1985	45 225	9 950	5 365	15 315
1986	46 402	10 208	5 447	15 655
1987	47 551	10 461	5 529	15 990
1988	48 671	10 708	5 611	16 319
1989	49 763	10 948	5 693	16 641
1990	50 826	11 182	5 775	16 957
1991	51 859	11 409	5 857	17 266
2000*		14 000	10 100	24 100

* Shelton, J.E.' "Supply and Demand for Sulphur in the United States", dans "Sulphur-81": procès-verbal de la Conférence internationale, Calgary, Mai 1981, p. 81-89.

TABLEAU 8

Projection de la demande américaine de soufre en l'an 2000

Utilisation finale	Demande
	(en milliers de t)
Usages agricoles	14 000
Raffinage du pétrole	2 000
Traitement des minéraux	1 800
Produits en plastique et produits synthétiques	1 300
Autres usages courants	5 000
Total partiel	24 100
Nouveaux usages	
Revêtement en asphalte à base de soufre	9 100
Béton au soufre	1 000
Total	34 000

PRÉVISION DE LA PRODUCTION DE SOUFRE

Le soufre natif est produit soit par extraction en surface, soit par extraction selon le procédé Frasch. Dans ce dernier procédé, on injecte de l'eau chaude dans le sous-sol pour faire fondre le soufre qui est à son tour propulsé jusqu'à la surface par air comprimé. Les deux méthodes d'extraction sont utilisées au choix par les producteurs de soufre. Le taux de production de ces producteurs dépend des coûts de l'énergie et des matériaux, des contraintes techniques particulières aux gisements et du prix du soufre sur le marché.

Une importante quantité de soufre est aussi récupérée à l'état élémentaire comme sous-produit de la production du gaz naturel acide et du raffinage du pétrole. Les coûts de récupération de cette production "involontaire" se répercutent habituellement sur les prix du gaz naturel ou du pétrole produit. Ainsi, le taux de production du soufre en tant que sous-produit est très indépendant du prix du soufre.

Au début des années 70, au moment où la production involontaire de soufre augmentait rapidement, l'offre mondiale a dépassé de loin la quantité demandée à ce moment-là. Les prix sont tombés et, en raison de la rigidité relative de la demande de ce produit, les stocks ont pris de l'ampleur. Inévitablement, à cause de ces faibles prix, plusieurs producteurs américains recourant au procédé Frasch ont été obligés de cesser leurs activités.

Canada

L'offre de soufre au Canada dépend surtout de la quantité récupérée au cours du traitement du gaz acide brut. Plusieurs tendances influent sur le niveau futur de récupération, spécialement en Alberta. Depuis le début des années 70, les nouveaux puits de gaz mis en production renfermaient essentiellement du gaz non sulfuré et la proportion de ce gaz par rapport au gaz acide dans la production annuelle totale a considérablement augmenté. D'un puits à l'autre, la concentration de H_2S baisse au cours de la durée de vie productive du réservoir, ce qui a aussi un effet sur la récupération du soufre. Les quantités de soufre disponibles dépendent de la quantité de gaz brut traitée. La quantité de gaz brut avant traitement est de 43 % plus importante que celle du gaz naturel mise en vente, en raison des pertes en cours de traitement et de la réinjection (on extrait le soufre avant la réinjection). Ces effets, associés à une prévision modifiée de l'Office national de l'énergie (annexe II) en ce qui concerne la demande de gaz naturel, ont permis d'obtenir la prévision de la production de soufre au tableau 9.

TABLEAU 9

Production canadienne de soufre à partir du gaz naturel, 1984-1991

Année	Demande de gaz naturel	Demande de gaz naturel	Offre de gaz brut	Soufre provenant des puits existants	Soufre provenant de nouveaux puits	Soufre extrait du gaz
	Petajoules	$10^9 m^3$	$10^9 m^3$	$10^3 t$	$10^3 t$	$10^3 t$
1984	3 655	94,2	134,6	4 870	2 124	6 994
1985	3 873	99,9	142,7	4 626	2 589	7 214
1986	4 038	104,1	148,7	4 382	2 933	7 315
1987	4 199	108,2	154,6	4 138	3 272	7 410
1988	4 274	110,2	157,4	3 894	3 433	7 327
1989	4 355	112,2	160,3	3 650	3 599	7 249
1990	4 374	112,7	161,0	3 406	3 639	7 045
1991	4 397	113,3	161,9	3 162	3 691	6 853

Avec la réduction du programme de mise en valeur des projets de l'Alsands et de Cold Lake, en ce qui concerne les sables bitumineux et le pétrole lourd, seules les usines existantes contribueront vraisemblablement à l'offre de soufre jusqu'en 1991. Il existe des projets d'expansion pour ces usines, ce qui pourrait porter à 500 000 t/a la capacité annuelle de production à partir des sables bitumineux. Une augmentation progressive jusqu'à ce niveau interviendra vraisemblablement comme le montre le tableau 10.

TABLEAU 10

Production canadienne de soufre et d'acide sulfurique, 1984-1991

Année	Usines de gaz naturel	Usines de traitement des sables bitumineux	Raffineries de pétroles	Soufre élémentaire	Soufre contenu dans les gaz de fusion	Total
			(en milliers de t de soufre)			
1984	6 994	351	135	7 480	881	8 361
1985	7 214	372	135	7 721	905	8 626
1986	7 315	394	135	7 844	935	8 779
1987	7 410	415	135	7 960	1 100	9 060
1988	7 327	436	135	7 898	1 100	8 998
1989	7 249	457	135	7 841	1 250	9 091
1990	7 045	479	135	7 659	1 350	9 009
1991	6 853	500	135	7 488	1 350	8 838

La récupération de soufre à partir du raffinage du pétrole au Canada a lieu surtout dans les provinces de l'Est en raison du traitement du pétrole brut étranger. On prévoit la continuation du traitement du pétrole brut aux niveaux actuels; par conséquent, la récupération de soufre à partir de cette source n'accusera aucune hausse.

En 1981 et 1982, les usines canadiennes de fusion de métaux communs fonctionnaient bien au-dessous de leur capacité et la production de bioxyde de soufre de d'acide sulfurique ne représentait qu'une fraction de la capacité des usines existantes. Au cours des dix prochaines années, cette capacité sera augmentée et un examen de la situation de chaque usine de fusion sera réalisé, ce qui permettra de déterminer le rythme probable de construction d'usines d'acide sulfurique.

Etats-Unis

La production prévue de soufre et d'acide sulfurique est donnée au tableau 11 et expliquée à l'annexe II.

TABLEAU 11

Production américaine de soufre et d'acide sulfurique, 1984-1991

Année	Usines de gaz naturel	Raffineries de pétrole	Usines de carburants de synthèse	Exploi-tations de type Frasch	Usines de fusion	Autres	Total
			(en milliers de t de soufre)				
1984	2 743	2 762	40	5 623	1 200	600	12 968
1985	3 000	2 920	80	5 381	1 200	600	13 181
1986	3 212	2 976	324	5 140	1 200	600	13 452
1987	3 424	3 032	568	4 899	1 100	600	13 623
1988	3 636	3 088	812	4 657	1 100	800	14 093
1989	3 848	3 144	1 056	4 416	1 000	1 000	14 464
1990	4 060	3 200	1 300	4 174	1 000	1 200	14 934
1991	4 272	3 256	1 544	3 932	1 000	1 400	15 404

BILAN DU SOUFRE EN AMÉRIQUE DU NORD

Lorsque l'on compare, comme au tableau 12, la prévision de l'offre et celle de la demande au Canada, on constate que la production sera excédentaire par rapport aux besoins canadiens au-delà de 1991, mais que l'ampleur de cet excédent sera plus ou moins fixe, et que la croissance des exportations ne pourra être réalisée que par prélèvements à même les stocks de réserves.

TABLEAU 12

Production canadienne excédentaire, 1984-1991

Année	Production de soufre, toutes formes	Demande		Excédent
		Scénario de faible demande	Scénario de forte demande	
	(en milliers de t de soufre)			
1984	8 361	1 751	2 261	6 100 - 6 610
1985	8 626	1 809	2 351	6 275 - 6 817
1986	8 779	1 855	2 428	6 351 - 6 924
1987	9 060	1 881	2 485	6 575 - 7 179
1988	8 998	1 905	2 541	6 457 - 7 093
1989	9 091	1 928	2 598	6 493 - 7 163
1990	9 009	1 952	2 654	6 355 - 7 357
1991	8 838	1 975	2 711	6 127 - 6 863

Au tableau 13, on compare l'offre et la demande américaines. La dépendance continuelle vis-à-vis des importations est évidente mais, en raison des structures régionales des marchés, il est probable que les États du Sud continueront à exporter et que le déficit sera compensé par des importations à partir du Canada et du Mexique. Le niveau des exportations à partir des États-Unis sera équilibré par des importations à partir du Canada, et par des variations des stocks de réserves.

TABLEAU 13

Demande nette des États-Unis et disponibilité du soufre canadien 1984-1991

Année	Demande américaine	Production américaine	Importations d'origine mexicaine	États-Unis et Canada	
				Variation des stocks de réserves	Exportations outre-mer
		(en milliers de t)			
1984	14 968	12 968	850	(2 200)	7 150 - 7 660
1985	15 315	13 181	850	(2 159)	7 150 - 7 692
1986	15 655	13 452	850	(2 152)	7 150 - 7 723
1987	15 990	13 623	850	(2 092)	7 150 - 7 754
1988	16 319	14 093	850	(2 069)	7 150 - 7 786
1989	16 641	14 464	850	(1 984)	7 150 - 7 820
1990	16 957	14 934	850	(1 968)	7 150 - 8 152
1991	17 266	15 404	850	(2 035)	7 150 - 7 886

( ) : diminution.

BILAN MONDIAL DU SOUFRE DE 1983 À 1991

Il est probable que la production de soufre accusera une certaine croissance en Pologne, en URSS, en Arabie Saoudite, en Iran et en Iraq. Au total, la croissance dans ces pays fera vraisemblablement grimper la production de 5 à 8 millions de t+/a vers la fin de la décennie.

Selon le président de la The British Sulphur Corporation Limited*, au cours des huit prochaines années, les prélèvements à même les stocks de réserves des producteurs seront restreints et les importations des pays du bloc communiste ainsi que leurs exportations demeureront vraisemblablement inchangées à un niveau d'importations nettes d'environ trois quarts de million de t/a.

Une fois que les nouveaux approvisionnements de soufre récupéré seront disponibles, ces manifestations types de surapprovisionnement ne devraient diminuer que progressivement au cours des deux ou trois prochaines années.

Comme cela s'est passé au cours des années 70, la demande de soufre ne réagit pas aux prix inclus dans une vaste gamme de prix. Par conséquent, si les producteurs involontaires du Canada essayaient d'écouler leurs stocks de réserves le plus rapidement possible, les prix chuteraient et, comme au début des années 70, certains producteurs volontaires pourraient être forcés de cesser leurs activités. En outre, si les fournisseurs canadiens réussissaient à vendre tous leurs stocks, l'offre annuelle de soufre du Canada chuterait, au bout de quatre années, de 3,5 millions de t, et les producteurs volontaires restants ne seraient pas en mesure de combler la différence. Sans stocks de réserves, une réelle crise de l'offre pourrait survenir.

LE SOUFRE ÉLÉMENTAIRE CANADIEN DANS LE COMMERCE INTERNATIONAL

Le commerce international du soufre élémentaire se chiffre à environ 15 millions de t. Un peu plus de la moitié est constituée par un sous-produit ou soufre produit involontairement et fourni par le Canada, l'Arabie Saoudite et la France, tandis que le reste des exportations est constitué par du soufre produit volontairement, provenant de Pologne, des Etats-Unis, du Mexique et de l'Iraq. La production d'engrais phosphatés représente la moitié de la consommation et diverses industries consomment le reste. Etant donné que c'est un réactif, sans substitut à prix compétitif, la demande de soufre ne réagit pas aux prix inclus dans toute la gamme des prix traditionnels.

---

* Lancaster, J.M., Sulphur Supply and Demand, The Global Outlook, 15 novembre 1982.

Le rôle du Canada sur le marché

Les usines de traitement de gaz acide de l'Alberta et de la Colombie-Britannique récupèrent chaque année 5,5 millions de t de soufre élémentaire. Une quantité équivalente est expédiée via le port de Vancouver jusque dans environ 30 pays répartis dans le monde entier. En plus, 1,5 million de t de soufre sont expédiées à l'état liquide aux États-Unis et un peu moins d'un million de t de soufre élémentaire demeurent au Canada, presque essentiellement à l'usage des industries des engrais et des pâtes et papiers. On prévoit pouvoir expédier quelque 2 millions de t de plus que la production annuelle en prélevant à même les stocks qui se sont accumulés entre la fin des années 60 et 1979. En 1979, ces stocks de réserves ont culminé à plus de 21 millions de t, mais vers le milieu de 1983, ils avaient été ramenés à environ 15 millions de t.

La production de soufre, en tant que sous-produit des puits de gaz acide de l'Alberta, a commencé à augmenter rapidement en 1966 pour atteindre son maximum en 1973. Depuis lors, on a constaté un déclin progressif à mesure que l'industrie du gaz recommençait à produire en plus forte proportion du gaz non sulfuré (gaz à faible teneur en hydrogène sulfuré).

De 1968 à 1978, les stocks de réserves canadiens et américains ont augmenté chaque année. Le prix nord-américain moyen a chuté à 17 $ US/t en 1972 et en 1973, tandis que la production de soufre canadien atteignait son maximum, suscitant ainsi, à tort, l'impression qu'il y aurait un excédent perpétuel (figure 8). Aux États-Unis, les producteurs de soufre qui opèrent selon le procédé Frasch s'efforçaient de maintenir leurs recettes en augmentant les ventes grâce à l'expansion de leur part du marché. En raison de leur coût de production plus bas, les producteurs involontaires ont pu couper l'herbe sous le pied des producteurs de soufre qui opèrent selon le procédé Frasch.

En 1974, certains observateurs ont reconnu que les stocks n'augmenteraient pas sans cesse et, à ce moment-là, les prix ont commencé à atteindre des niveaux au moins équivalents au coût du transport. En 1975, les prix ont commencé à refléter le coût de production des producteurs, qui opèrent selon le procédé Frasch, et en 1978, ils se sont maintenus à environ 45 $ US/t. En 1979, les exportations canadiennes sont passées à 5,1 millions de t; des prélèvements ont été effectués à même les stocks et les producteurs ont reconnu que le soufre pourrait être une importante source de revenu. Les prix se sont élevés à 56 $ US/t et ont continué à s'élever en 1980 et en 1981. Les investissements dans l'infrastructure et des conditions plus équitables dans les contrats avec les chemins de fer et les ports ont été établis. L'industrie de type Frasch aux États-Unis faisait alors face à des coûts plus élevés en raison de l'augmentation des prix du gaz naturel. Certains producteurs canadiens n'étaient plus obligés d'écouler leurs stocks et à la longue, ils ont récupéré en tant que sous-produit en évitant de couper l'herbe sous le pied des producteurs qui opèrent selon le procédé Frasch.

En 1980 et 1981, l'instabilité politique de la Pologne et le déclenchement des hostilités entre l'Iran et l'Iraq ont privé l'offre mondiale de quelque 1,5 million de t. De plus, l'approvisionnement prévu en soufre élémentaire provenant de l'Arabie Saoudite a été retardé pendant

SOUFRE ÉLÉMENTAIRE CANADIEN, 1960-1990

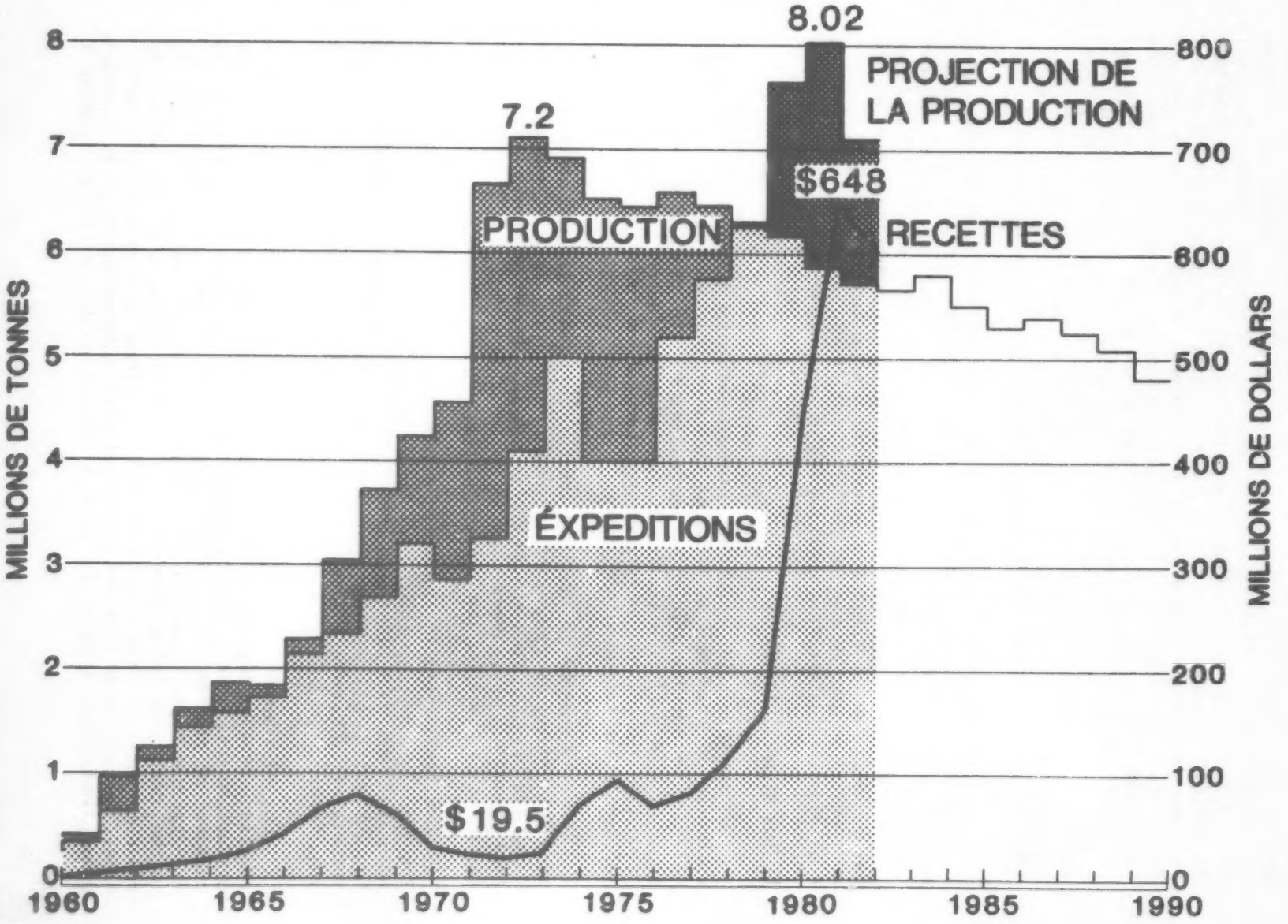


FIGURE 8

deux ans. Ces contretemps dans l'approvisionnement ont fait monter les prix et ont provoqué la hausse des ventes à partir des stocks de réserves en Alberta et aux Etats-Unis. Ce qui est surprenant, cependant, c'est qu'il a fallu attendre 1981 avant que les prix (en valeur réelle) dépassent le maximum atteint en 1968! Le nouveau niveau de prix était dorénavant fixé sur le coût de production et de livraison du soufre récupéré par les producteurs qui opèrent selon le procédé Frasch dans le Sud-Ouest des Etats-Unis. Le marché le plus concentré au monde est celui de la Floride; la livraison de soufre extrait selon le procédé Frasch jusque dans cette région a établi le prix international du soufre. Par suite de la dure récession, certains rajustements mineurs ont été apportés au moment où la demande fléchissait en 1982 et de la fin de l'année jusqu'au milieu de 1983, aucun prélèvement net n'a été opéré sur les stocks de réserves.

Au cours des quatre dernières années, une gestion prudente des stocks de réserves a entraîné le prélèvement total de 5,5 millions de t, tandis que le prix mondial était équivalent ou supérieur aux coûts auxquels faisaient face les producteurs volontaires. En 1983, sous l'influence de la faible demande mondiale et de l'entrée de l'Arabie Saoudite sur le marché, et face aux efforts de plusieurs des producteurs involontaires de maintenir leur part du marché, les prix sont tombés au-dessous du niveau de coût auquel faisaient face certains producteurs volontaires.

Enjeux et possibilités

Le marché mondial du soufre, spécialement celui du soufre élémentaire, en dehors de l'Amérique du Nord, croîtra à un taux moyen d'environ 3 % par an au cours des dix prochaines années, mais cette croissance ne sera ni constante, ni difficile à prévoir d'une année à l'autre. D'autre part, la production de soufre augmentera par étape et ne sera que marginalement influencée par la demande de soufre.

Pour s'adapter à cette structure du marché, la stratégie de commercialisation adoptée par les deux plus grandes sociétés exportatrices de soufre canadien consiste en contrats à long terme, avec négociations de prix chaque six mois, comme moyen de garantir la sécurité de l'approvisionnement et la stabilité des prix.

Les producteurs involontaires déterminent leurs prix, en fonction des tendances à long terme des prix qu'ils prévoient. En outre, les coûts auxquels font face les producteurs volontaires actuels constituent un facteur clé dans les projections des prix étant donné que la production volontaire continuera à jouer un rôle important dans l'approvisionnement à long terme.

Les plus grands fournisseurs involontaires reconnaissent que leurs recettes seront maximisées à des prix équivalant au coût moyen de production des producteurs volontaires. A des prix plus élevés, la capacité de production volontaire augmenterait et les parts du marché des exportateurs traditionnels diminueraient. En cas de bas prix, la part du marché des producteurs involontaires s'accroîtrait, mais les stocks de réserves seraient vendus au-dessous de la valeur marchande à long terme. Ainsi, les stocks de réserves pourraient être judicieusement gérés au moyen d'une liquidation lorsque les prix s'élèvent au-dessus de la tendance à

long terme et par accumulation, lorsque les prix tombent. Cette pratique garantirait aux producteurs involontaires des approvisionnements stables et des rendements optimaux.

Pour le Canada, cela suppose que les stocks de réserves de soufre élémentaire seront éventuellement vendus et que les prélèvements globaux à même les stocks dépasseront les additions au cours des dix prochaines années; cependant, le contraire pourrait se produire et les stocks, s'accumuler pendant de courtes périodes au cours de plusieurs de ces années.

La demande nord-américaine d'acide sulfurique continuera à dépasser l'offre disponible des usines de fusion des métaux non ferreux et des centrales thermiques pendant au moins une autre décennie. Le marché de l'acide sulfurique dépendra, dans une grande mesure, du prix de livraison du soufre élémentaire en tant que source de remplacement de l'acide. A leur tour, les prix du soufre élémentaire dépendront surtout du comportement du soufre canadien dans le commerce mondial.

En 1983, la concurrence en matière de commerce international du soufre a réduit de 1,5 million de t la part du Canada, par rapport aux exportations de 1982. La Pologne se montre à nouveau un vendeur dynamique en Afrique du Nord et en Amérique du Sud; l'Arabie Saoudite a commencé à expédier du minerai au rythme de 800 000 t/a; l'Iran et l'Iraq recommencent à exporter du soufre, bien qu'à des taux inférieurs à ceux de 1980. Il est peu probable qu'une chute modérée des prix diminuera leur empressement à réaliser des ventes en raison des besoins en devises étrangères de ces pays. La concurrence la plus sévère se retrouvera en Europe de l'Ouest, au Maroc, en Tunisie, en Inde et au Brésil.

Si le Canada accepte de réduire sa part du marché et attend que la demande s'élève au niveau des nouvelles sources d'approvisionnement, les prix pourraient se stabiliser et le marché résiduel desservi par le Canada continuerait à assurer un rendement profitable à la tonne. En revanche, une concurrence sévère parmi les fournisseurs canadiens sur le marché des exportations outre-mer continuerait à faire baisser les prix. Si nous présumons qu'à court terme les producteurs volontaires ne cesseront pas leurs activités, les fournisseurs canadiens n'arriveront pas à augmenter sensiblement leur part du marché et enregistreront une baisse importante de leurs recettes totales.

La politique fédérale devrait donc encourager une stratégie de commercialisation cohérente parmi les exportateurs de soufre canadien de façon à assurer la gestion optimale des stocks de réserves et, dans la mesure du possible, à stabiliser le prix international du soufre à des niveaux équitables.

Le troc permet à plusieurs des pays qui importent actuellement du soufre élémentaire de satisfaire leurs besoins en devises étrangères. Le troc peut être un système tripartite ou mixte comme les dispositions existant entre la Canaulex, la République démocratique allemande (RDA) et le Brésil. En l'occurrence, le soufre est acheté par la RDA à la Canaulex pour livraison au Brésil en échange de biens livrés à la RDA. Les trocs à long terme présentent l'avantage additionnel de protéger les partenaires des changements erratiques de prix pour une marchandise ou pour une autre.

Les accords de swap sont une autre possibilité pour les producteurs qui s'engagent alors à profiter de distances de livraison plus courtes et des coûts de fret moins élevés. Par exemple, un accord de swap avec le Mexique pour les ventes canadiennes aux Etats-Unis consisterait à expédier du soufre canadien aux usines d'engrais réparties sur la côte ouest du Mexique; un tonnage équivalent de soufre serait exporté de la côte est du Mexique pour livraison dans le Sud-Est des Etats-Unis. Le soufre canadien bénéficierait alors des coûts de transport ferroviaire plus bas aux Etats-Unis et le produit mexicain pourrait être livré par navires aux Etats-Unis au lieu d'être transporté par chemin de fer d'un bout à l'autre du pays jusqu'aux usines d'engrais de la côte ouest.

Ces méthodes de commercialisation de remplacement augmenteraient le commerce et aideraient à la stabilisation des prix.

CONTRÔLE DU BIOXYDE DE SOUFRE

Dans les usines de fusion de métaux non ferreux, la combustion des minerais sulfurés est la première étape du processus de fusion. Cette utilisation de l'énergie dans le minerai de soufre constitue un facteur important dans la rentabilité des usines canadiennes de fusion de nickel en ce sens qu'elle maintient une position compétitive par rapport aux activités menées dans d'autres pays, spécialement celles qui sont basées sur les latérites (les minéraux métalliques existant dans les latérites sont des oxydes et non pas des sulfures; par conséquent, une quantité considérable de combustible est consommée pour la production du métal).

Le traitement hydrométallurgique du minerai sulfuré donne du soufre sous forme élémentaire; cette technique est exploitée à l'essai par la Cominco à Trail (Colombie-Britannique). Les coûts du réactif sont plus élevés pour ce type de procédé qui ne profite pas de l'énergie libérée par l'oxydation du soufre. Cette technique ne pourra pas être employée pour la plupart des minerais canadiens pendant encore quelque temps.

Pour réduire à court terme et de façon significative les émissions de SO_2 des usines de fusion, il est indispensable d'appliquer judicieusement aux procédés existants des techniques prouvées ou encore à l'essai. L'une de ces méthodes consiste à rejeter dans les circuits de broyage plus de minerai de qualité inférieure. Les coûts de cette solution se justifient par le besoin d'augmenter la quantité de minerai broyé afin de produire une quantité donnée de métal et de récupérer du métal de qualité inférieure dans le circuit de broyage.

Etant donné qu'il existe des marchés adéquats pour l'acide sulfurique et que la teneur en SO_2 dans les filets de gaz (4 % ou plus) est suffisante, la conversion en acide sulfurique dans une usine traditionnelle de production d'acide est encore l'option du moindre risque et l'option économiquement attrayante pour la réduction des émissions de SO_2. Pour cela, il faudrait élaborer une stratégie d'accès préféré au marché pour l'acide obtenu par réduction des émissions. Des recherches sur les moyens d'augmenter la valeur de l'acide par le développement des marchés et sur les moyens de réduire les coûts de récupération et les coûts de transport devraient être envisagées.

Il existe essentiellement deux marchés pour l'acide sulfurique. Le plus grand marché comprend les acheteurs de grandes quantités, qui se préoccupent d'approvisionnements sûrs et dont les besoins sont suffisants pour qu'ils aient l'option de construire une usine de production d'acide afin de brûler le soufre élémentaire pour fabriquer leur propre acide. Ces consommateurs sont en mesure de négocier des prix relativement bas pour l'acide en vertu de contrats à long terme. La plupart des producteurs d'engrais se classent dans cette catégorie. L'autre marché est constitué d'un grand nombre de consommateurs, chacun absorbant une quantité relativement faible d'acide et pour lequel le coût de l'acide ne constitue qu'un faible partie des coûts de production. Ces consommateurs achètent l'acide aux prix affichés qui sont habituellement beaucoup plus élevés que ceux qu'offrent des contrats à long terme impliquant de grandes quantités. Ce dernier groupe de consommateurs constitue le marché de l'acide marchand.

La C-I-L Inc. qui commercialise l'acide produit par trois usines de fusion de l'Est du Canada a essayé d'augmenter les entrées nettes des usines de fusion en vendant une forte proportion de l'acide excédentaire par rapport aux besoins canadiens sur le marché américain de l'acide marchand. Comme nous l'avons déjà mentionné, le rapport de l'acide au soufre élémentaire est de 3 à 1 au détriment de l'acide en ce qui concerne l'expédition, si bien que pour desservir le marché américain, il fallait rationaliser les transports. Un grand terminal d'acide a été construit à Chicago pour l'acide canadien; le marché cible était constitué d'un zone située dans un rayon de 500 km du terminal. La stratégie a été assez concluante et il semble qu'il soit possible d'augmenter les ventes d'acide dans cette région.

A long terme, il existe deux facteurs clés pour l'amélioration de la rentabilité de la réduction des émissions de bioxyde de soufre:

- réduire le coût de récupération du SO_2;
- rehausser la valeur du sous-produit.

Rentabilité de la récupération du bioxyde de soufre

Les techniques de récupération du bioxyde de soufre contenu dans les gaz d'échappement sont bien connues et une expérience pratique a été acquise pendant plusieurs décennies dans les usines de fusion réparties d'un bout à l'autre du monde. Cependant, le système doit être conçu en fonction des méthodes et de l'équipement particuliers des usines de fusion, et en fonction de la composition des concentrés traités dans chaque usine de fusion. Les nombreux facteurs à considérer pour concevoir de nouvelles usines de fusion ou pour modifier des usines existantes relèvent de plusieurs domaines où la recherche fondamentale, si elle est bientôt entreprise, pourrait sérieusement influencer les décisions. Voici quelques-uns de ces facteurs:

- traitement des gaz d'échappement à faible teneur en SO_2;
- suppression des concentrations à l'état de traces d'éléments nocifs;
- récupération de sous-produits valables.

L'appui du gouvernement à la recherche sur la réduction du bioxyde de soufre sera décisif. Cet appui pourrait être fondé sur:

- les coûts en capital et les coûts d'exploitation engagés par les exploitants d'usines de fusion;
- la réduction des émissions de SO_2 mesurées par rapport à celles de 1980;
- la rétention du soufre mesurée en pourcentage du soufre présent dans le concentré;
- le rendement net de la vente des sous-produits.

Sous-produits

La réduction du SO_2 permet d'obtenir quelques produits courants:

- sulfite/sulfate de calcium (en boues ou en déchets secs);
- gypse synthétique;
- acide sulfurique;
- SO_2 liquide.

En outre, il existe plusieurs autres sous-produits pour lesquels des techniques sont encore en cours d'élaboration. Ce sont:

- les sulfates d'ammonium, de sodium, de potassium et de magnésium;
- le sulfate de sodium et de magnésium.

Il existe une vaste gamme de techniques permettant d'obtenir des sous-produits de la réduction de SO_2 à divers stades d'élaboration qui, si elles étaient convenablement exploitées, permettraient d'améliorer l'utilité et la valeur des sous-produits, et donc augmenteraient la rentabilité de la réduction de SO_2. La sélection du procédé et le nombre d'options permettant de réduire les émissions de SO_2 seront influencés par les marchés existants ou, éventuellement, par de nouveaux marchés en expansion pour les différents sous-produits. L'avantage potentiel est des plus attrayant lorsque la conception ou la modification d'une usine de fusion est fondée sur la récupération d'un sous-produit souhaitable. Un tel projet ne peut être amélioré que si l'on connaît mieux la production, le traitement, le transport et la commercialisation des sous-produits "traditionnels", ainsi que les possibilités des nombreuses solutions de remplacement.

Recherche et développement

Il est nécessaire de stimuler la recherche et le développement relatifs à la réduction du bioxyde de soufre au moyen d'une collaboration efficace des gouvernements fédéral et provinciaux et de l'industrie pour réduire les contraintes à long terme de l'expansion de notre industrie des métaux non ferreux.

Au début des années 70, un surapprovisionnement chronique de soufre élémentaire était prévu par l'industrie canadienne du gaz naturel et par certains experts gouvernementaux. Le Sulphur Development Institute of Canada (SUDIC), décrit ci-dessous, a été créé en 1973 pour développer et

promouvoir de nouveaux usages pour le soufre afin de soulager le problème avant son apparition. Le SUDIC a géré des fonds de recherche avec efficacité. A la fin de 1982, 973 000 t de soufre avaient été utilisées dans la fabrication d'asphalte additionné de soufre, 80 % de cette quantité ayant bénéficié de la technologie du SUDIC. Certains des autres programmes sont tout aussi prometteurs, bien que, jusqu'à présent, l'utilisation du soufre ait été moindre que pour l'asphalte. Il est intéressant de remarquer que de nombreux projets qui semblaient prometteurs à l'étape initiale ont été financés jusqu'au moment où le potentiel d'applications commerciales a disparu. La structure du SUDIC lui a permis de financer les projets plus susceptibles de réussir à l'échelle commerciale.

Le Sulphur Development Institute of Canada (SUDIC) a été constitué en société en 1973 en vertu de la Partie II de la Loi sur les corporations canadiennes en tant qu'organisme sans but lucratif. Son soutien lui vient de droits payés par les sociétés membres et de subventions versées par les gouvernements du Canada et de l'Alberta. En réponse à une demande grandissante de participation aux affaires du SUDIC, les règlements ont été modifiés en 1977 pour accueillir des membres associés et des membres étrangers. Le personnel du SUDIC relève d'un conseil d'administration de neuf membres, six d'entre eux représentant les sociétés membres, et deux autres, les gouvernements qui le soutiennent.

Les objectifs généraux de l'Institut consistent à développer et à encourager de nouveaux usages importants du soufre au Canada et ailleurs, à aider à la création d'une nouvelle industrie canadienne fondée sur le soufre en tant que matière première, et à accroître l'usage et la consommation du soufre sur les marchés actuels.

Dans ce contexte, l'objectif premier du SUDIC consiste à susciter et à aider le développement commercial de nouveaux marchés de grandes quantités de soufre. Pour ce faire, il négocie avec des organismes industriels le financement de projets de développement particuliers; il accorde des subventions aux universités et aux instituts de recherche pour la recherche thématique à l'appui du programme de développement, et il coordonne et diffuse des renseignements techniques afin d'encourager et d'aider les innovations relatives à de nouvelles applications pour le soufre.

Une étude de faisabilité est actuellement en cours afin d'évaluer la gamme des options institutionnelles qui permettent d'envisager des possibilités de recherche et de développement sur les moyens technologiques d'améliorer la rentabilité de la réduction des émissions de bioxyde de soufre. Elle permettra d'évaluer le rôle potentiel des différents niveaux de gouvernement, de l'industrie et des universités ou de n'importe quelle combinaison de ceux-ci, dans la réalisation de ces recherches.

Par exemple, une fondation de recherche pourrait être établie avec le mandat de s'occuper particulièrement du bioxyde de soufre. La fondation entreprendrait des recherches sur la capture de SO_2, sur la production de sous-produits et sur le développement de débouchés pour ces sous-produits. Une solution de remplacement consisterait à créer un bureau central qui susciterait la recherche et le développement. Une troisième option

consisterait à créer un organisme qui louerait ses services en tant que chef de projet, comme le SUDIC, ce qui pourrait inciter à envisager l'expansion du rôle du SUDIC.

L'objectif consisterait à coordonner les efforts de recherche pour améliorer en fin de compte la rentabilité des techniques de réduction du bioxyde de soufre.

ANNEXE I

HISTORIQUE DU SOUFRE ET DE SES COMPOSÉS

Le soufre tient la quinzième place parmi les éléments les plus courants de la croûte terrestre. Il se trouve naturellement à l'état élémentaire sous forme de soufre natif, un solide inerte jaune. Ce solide se trouve autour des cheminées volcaniques, et dans certaines séquences d'évaporites. Cependant, le soufre est bien plus courant en combinaison avec des métaux comme les minéraux sulfurés, et sous forme de sulfates tels que le gypse, et sous forme de gaz, l'hydrogène sulfuré (H_2S), qu'on trouve fréquemment dans les réservoirs de gaz naturel.

Le soufre tient la seizième place dans le tableau périodique des éléments et sa masse atomique est de 32,06. Sous sa forme élémentaire, connue depuis l'Antiquité, c'est un solide jaune pâle, inodore, fragile et insoluble dans l'eau. Aux températures et aux pressions normales, le soufre forme d'épais cristaux tabulaires orthorhombiques dont la densité est de 2,07. Le point de fusion est 113°C et il brûle à 270°C avec une flamme bleue.

L'hydrogène sulfuré est un gaz très toxique et très corrosif dans les conditions normales et il se trouve en solution avec le gaz naturel et le pétrole brut. Le procédé Claus modifié sert à récupérer le soufre élémentaire contenu dans le gaz naturel acide. L'hydrogène sulfuré est extrait par absorption dans une solution de diéthanolamine, de monoéthanolamine, de carbonate de potassium chaud ou de sulfinol. La solution est chauffée dans une colonne de fractionnement qui permet d'obtenir l'hydrogène sulfuré. Le H_2S passe dans un four où se produit une oxydation partielle selon la réaction suivante:

$$2H_2S + 3O_2 \quad 2H_2O + 2SO_2$$

$$2H_2S + SO_2 \quad 2H_2O + 3S$$

Le gaz de ce four pénètre dans une série de condenseurs-convertisseurs et le soufre liquide est extrait de chaque unité jusqu'à récupération de 95% ou plus du soufre initial.

La pyrite (FeS_2, 53,5% de soufre en poids) et la pyrrhotine ($Fe_{1-x}S$) sont des sulfures de fer qui sont très communs et ont une importance commerciale comme sources de soufre.

D'autres sulfures métalliques tels que la chalcopyrite ($CuFeS_2$), la sphalérite (Zn, Fe)S, la galène (PbS_2) et la pentlandite $(Fe, Ni)_9S_8$ sont, au Canada, d'importantes sources de cuivre, de zinc, de plomb et de nickel. Il existe 14 usines de fusion de minéraux non ferreux au Canada et une partie du soufre contenu dans les gaz de fusion est récupérée dans huit

de ces usines. Le minerai sulfuré grillé au début du processus de fusion laisse s'échapper du bioxyde de soufre. Le gaz est soit refroidi et comprimé pour former du SO_2 liquéfié (50,1 % de soufre en poids), soit converti en présence d'un catalyseur en anhydride sulfurique (SO_3) puis, après addition d'eau, récupéré sous forme d'acide sulfurique (ou, en cas d'excès de SO_3, sous forme d'oléum).

Le procédé Frasch

Dans ce procédé, de grandes quantités d'eau chaude sont introduites dans des puits forés dans des gisements enfouis de soufre natif. La chaleur de l'eau fait fondre le soufre qui se trouve à proximité des puits; le soufre fondu est alors extrait jusqu'à la surface sous forme de soufre élémentaire fondu d'une pureté élevée. Une canalisation extérieure servant de protection est descendue jusqu'au chapeau dénudé recouvrant les formations de soufre. Une canalisation intérieure, descendue jusqu'au fond de la zone sulfurifère, transporte l'eau chaude qui est pompée dans des trous pratiqués dans la formation sulfurifère. La chaleur de l'eau chaude est transférée dans la formation et fait fondre le soufre qui, étant plus lourd que l'eau, s'accumule pour former une mare de soufre liquide au fond du puits. Des deux canalisations intérieures, la plus petite transporte de l'air comprimé qui force le soufre liquide à s'élever jusqu'à la surface en empruntant la canalisation de plus grand diamètre. L'eau injectée n'est pas extraite par le puits de production. Au contraire, elle migre dans la formation et est éventuellement extraite par des puits de purge d'eau qui sont généralement situés sur les flancs de la structure à l'écart de la zone d'extraction.

L'industrie canadienne du soufre

Le soufre canadien provient de trois sources: le soufre élémentaire tiré du gaz naturel acide et du pétrole, l'acide sulfurique et le bioxyde de soufre récupérés dans les gaz de fusion, et l'acide sulfurique tiré des concentrés de pyrite. De faibles quantités de soufre élémentaire sont récupérées comme sous-produits de l'affinage électrolytique de la matte de sulfure de nickel.

En 1982, 92 % des expéditions de soufre canadien ont été effectuées sous forme élémentaire, provenant essentiellement d'usines de traitement de gaz acide de l'Ouest du Canada, mais aussi des sables bitumineux de l'Athabasca et de raffineries de pétrole. Plus de 1,5 million de t de soufre élémentaire ont été prélevées des stocks, ce qui a porté les expéditions de soufre élémentaire à 7,4 millions de t.

Bien que la teneur en H_2S des gisements de gaz acide s'élève à 91 % en poids, la plupart des champs producteurs en contiennent de 1 à 20 %. La récupération de soufre varie de 94,5 % pour les usines de traitement de gaz produisant 10 tonnes par jour (t/j) de soufre, à 99 % pour les usines permettant de récupérer 1 300 t/j de soufre dans le gaz d'entrée. Les réserves signalées de soufre récupérable à partir du gaz naturel en Alberta s'élevaient à 119,3 millions de t à la fin de 1981. D'autre part, on estime que 181 millions de t de soufre ont été classées comme réserves sous forme de bitume brut, principalement dans les sables bitumeux situés près de Fort McMurray.

En 1982, il y avait 46 usines de traitement de gaz acide en activité en Alberta et trois autres en Colombie-Britannique (tableau 14). La capacité nominale des usines de récupération de soufre s'élevait au total à 10 millions de t/a. Les usines de l'Alberta ont récupéré 4 945 000 t de soufre, et celles de la Colombie-Britannique, 200 000 t. Étant donné que le H_2S s'épuise lentement dans les champs de gaz, l'utilisation des unités de récupération de soufre diminuera. En 1982, les unités de récupération de soufre n'ont fonctionné qu'à 48 % de leur capacité.

L'expansion d'une usine de traitement de gaz acide devait être achevée et trois nouvelles usines devaient commencer à fonctionner vers la fin de 1983. La société Ressources Shell Canada Limitée porte la capacité de l'usine de Jumping Pound de 511 t/j à 566 t/j de soufre élémentaire. La Hudson's Bay Oil and Gas Company Limited construit, à Brazeau River, une usine de traitement de gaz qui pourrait produire 300 t/j de soufre. La société Ressources Gulf Canada Inc. a presque achevé une nouvelle usine de 1 478 t/j dans la région de Hanlan-Robb. La Chieftain Development Co. Ltd. et la Texaco Canada Resources Ltd. prévoient une usine de 200 t/j pour la région de Hythe.

La Canadian Occidental Petroleum Ltd. prévoit construire une usine de traitement de gaz acide de 700 t/j de soufre dont la mise en service aurait lieu en 1985. L'usine qui doit être située près d'Alderside (Alberta) portera le nom de Mazeppa.

Le soufre peut être récupéré dans 12 des raffineries canadiennes de pétrole en activité, mais, en 1982, une bonne partie de leur capacité était inutilisée (tableau 15). Environ 36 000 t de soufre élémentaire ont été récupérées du pétrole brut canadien (ne comprend pas les sables bitumineux) et la récupération à partir du pétrole brut étranger (non classé dans la production canadienne) a peut-être atteint un chiffre quatre fois plus élevé.

Non seulement les sables bitumineux de l'Athabasca, dans le nord de l'Alberta, sont-ils une source de pétrole brut, mais encore, avec une concentration en soufre titrant en moyenne 4,8 % en bitume, ils constituent une importante source de soufre élémentaire. En 1982, 244 000 t de soufre ont été récupérées aux deux usines de traitement des sables bitumineux en activité près de Fort McMurray.

L'usine ouverte en 1967 par la Great Canadian Oil Sands Limited (GCOS) a été prise en main par la Suncor Inc. en août 1979 avec la fusion de la GCOS et de la Sun Oil Company.

L'usine de la Syncrude Ltd. a commencé ses activités en 1978.

Un troisième projet, proposé par un consortium, le groupe Alsands, aurait eu une capacité journalière d'environ 140 000 barils de combustible synthétique et aurait récupéré de 300 000 à 400 000 t/a de soufre. Ce projet a été différé indéfiniment.

TABLEAU 14

Canada: Usines d'extraction de soufre à partir de gaz naturel acide, 1982

Société d'exploitation	Emplacement de la source ou de l'usine (Alberta, sauf mention contraire)	H_2S dans le gaz brut (%)	Capacité journalière (en t)
Amerada Hess Corporation	Olds	11	384
Compagnie des Pétroles Amoco Canada Ltée	Bigstone Creek	19	382
Compagnie des Pétroles Amoco Canada Ltée	East Crossfield	34	1 757
Compagnie des Pétroles Amoco Canada Ltée	Windfall	16	1 175
Canada-Cities Service, Ltd.	Paddle River		19
Canadian Superior Oil Ltd.	Harmattan-Elkton	53	490
Canadian Superior Oil Ltd.	Lonepine Creek	12	157
L'Énergie Canterra Ltée	Brazeau River		42
L'Énergie Canterra Ltée	Okotoks	36	459
L'Énergie Canterra Ltée	Rainbow Lake	4	139
L'Énergie Canterra Ltée	Ram River (Ricinus)	9-35	4 567
Chevron Standard Limited	Kaybob South	19	3 521
Chevron Standard Limited	Nevis	7	260
Dome Petroleum Limited	Steelman (Sask.)	1	7
Esso Ressources Canada	Joffre		17
Esso Ressources Canada	Quirk Creek	9	300
Esso Ressources Canada	Redwater	3	33
Gulf Canada Limitée	Homeglen-Rimbey	1-3	333
Gulf Canada Limitée	Nevis	3-7	295
Gulf Canada Limitée	Pincher Creek	10	160
Gulf Canada Limitée	Strachan	10	943
Home Oil Company Limited	Carstairs	1	72
Hudson's Bay Oil and Gas	Brazeau River	1	110
Hudson's Bay Oil and Gas	Caroline	1	22
Hudson's Bay Oil and Gas	Edson	2	284,5
Hudson's Bay Oil and Gas	Kaybob South (1)	17	1 064
Hudson's Bay Oil and Gas	Kaybob South (2)	17	1 064
Hudson's Bay Oil and Gas	Lonepine Creek	10	283
Hudson's Bay Oil and Gas	Sturgeon Lake		49
Hudson's Bay Oil and Gas	Zama		74
Mobil Oil Canada, Ltd.	Wimborne	14	168
Mobil Oil Canada, Ltd.	Teepee		29
PanCanadian Petroleum Limited	Morley		18
Petro-Canada	Gold Creek		43
Petro-Canada	Wildcat Hills	4	177
Petrogas Processing Ltd.	Crossfield (Balzac)	31	1 687
Saratoga Processing Company	Savannah Creek (Coleman)	13	389
Shell Canada Limitée	Burnt Timber Creek	8-5	497
Shell Canada Limitée	Innisfail	14	163
Shell Canada Limitée	Jumping Pound	3-5	511
Shell Canada Limitée	Rosevear		153
Shell Canada Limitée	Simonette River	15	267
Shell Canada Limitée	Waterton	18-25	3 066
Sulpetro Limited	Minnehik-Buck Lake		45
Suncor Inc.	Rosevear		110
Texaco Exploration Company	Bonnie Glen		15
Westcoast Transmission	Fort Nelson (C.-B.)		1 100
Westcoast Transmission	Taylor Flats (C.-B.)	3	460
Western Decalta Petroleum	Turner Valley	4	24
Capacité nominale totale par jour, au 31 décembre 1982			28 439

Source: Publications de l'Alberta Energy Resources Conservation Board.

TABLEAU 15

Capacité d'affinage du soufre au Canada, 1982

Société d'exploitation	Endroit	Capacité par jour (en t)
Gulf Canada Limitée	Edmonton (Alberta)	103
	Port Moody (C.-B.)	25
	Clarkson (Ontario)	40
	Port Tupper (N.-É.)	40[1]
Husky Oil Ltd.	Prince George (C.-B.)	5
Compagnie	Edmonton (Alberta)	36
Pétrolière	Dartmouth (N.-É.)	40
Impériale	Sarnia (Ontario)	103
Ltée	Vancouver (C.-B.)	20
Irving Oil Limited	Saint John (N.-B.)	200
Sulconam Inc.	Montréal (Québec)	300
Newfoundland Refining Co. Ltd.	Come-by-Chance (T.-N.)	194[1]
Shell Canada Limitée	Shelburn (C.-B.)	15
	Oakville (Ontario)	50
	Sarnia (Ontario)	31
Suncor Inc.	Sarnia (Ontario)	10
Texaco Canada Resources Ltd.	Nanticoke (Ontario)	8
Total 1982		986

Sources: Oilweek, Chemical Economics Handbook.

[1] Hors service en 1982.

Parmi les autres projets qui ont été proposés figure la mise en valeur des gisements de pétrole lourd de Cold Lake avec des concentrations en soufre titrant en moyenne 4,4 %, du gisement de Peace River, à 6 % de soufre et de celui de Wabasca à 6,1 % de soufre. Quelque 40 projets expérimentaux sont fondés sur le pétrole lourd et les sables bitumineux de l'Alberta et de la Saskatchewan.

Deux récentes découvertes de gaz, aux puits Whiskey de Shell et Moose de Chevron Shell, au sud de Calgary, ont accusé des concentrations de H_2S de 7 à 40 %. Ces puits et d'autres champs comme celui de Panther River, dont la teneur élevée en hydrogène sulfuré est connue, pourraient un jour être mis en valeur comme sources de soufre à un coût de récupération moins élevé que celui de l'exploitation des mines de type Frasch.

La récupération de soufre élémentaire pendant la production de combustible à partir du charbon est peut-être possible au gisement de Hat Creek, en Colombie-Britannique, où la teneur en soufre est en moyenne de 0,5 %.

Des stocks de soufre excédentaire ont été accumulés en Alberta depuis la fin des années 60 jusqu'à ce que les stocks culminent à 21 millions de t en juillet 1979. Par la suite, les prélèvements ont dépassé les additions, et les réserves de soufre stockées en Alberta s'élevaient à 15,4 millions de t à la fin de l'année 1982.

Le soufre élémentaire est produit sous forme de liquide orange clair à environ 120°C. Au début des années 70, lorsque l'offre dépassait de loin la demande au Canada, le soufre liquide était pompé jusqu'à des réservoirs ou fosses dans lesquels des couches de matière fondue se refroidissaient et se solidifiaient. A mesure que chaque couche durcissait, les parois des fosses étaient surélevées et de nouvelles couches de soufre ajoutées jusqu'à ce que des "blocs" de soufre se forment, couvrant ainsi plusieurs acres et s'élevant à une hauteur pouvant atteindre trois étages.

Le soufre élémentaire dans les blocs de stockage était brisé par des bouteurs et chargé avec des pelles mécaniques ou des chargeuses à benne frontale dans des wagons de chemin de fer pour expédition. Le chargement, le transport, le déchargement et le stockage des blocs de matériaux brisés, soit le soufre en vrac, produisaient de la poussière et présentaient un risque pour la santé et une préoccupation pour la sécurité en raison du risque d'explosion. En conséquence, des ateliers de fusion stationnaires et in situ ont été introduits pour produire du soufre liquide à partir des blocs. La capacité actuelle de fusion est d'environ 300 000 t par mois.

Dans certains cas, le soufre est expédié sous forme liquide. Le chargement des wagons-citernes est moins coûteux que celui des wagons-trémies à condition que le soufre puisse être chargé à mesure qu'il est produit. Une pellicule de soufre solide de plusieurs centimètres d'épaisseur se forme sur la surface intérieure des réservoirs, créant ainsi une excellente couche isolante qui garde à l'état liquide la majeure partie du soufre, même à des températures ambiantes de - 30°C ou moins. Le déchargement nécessite un traçage à la vapeur pour faire fondre la couche isolante. Les expéditions sous forme liquide ne sont pas utilisées pour les marchés outre-mer, mais elles dominent le commerce en Amérique du Nord.

Il n'est pas possible d'expédier du soufre liquide aux marchés outre-mer et les expéditions en vrac ne sont pas autorisées en raison des problèmes dus à la poussière. Le soufre sous forme de plaques, de granules ou "perlée" domine actuellement le marché. La fabrication de plaques consiste à faire passer une couche de soufre liquide de 5 à 10 mm d'épaisseur sur un long convoyeur à courroie avec refroidissement par eau. La couche se durcit et, au bout du convoyeur, elle se brise en plaques de 3 à 6 cm de long. Le soufre en plaques se manutentionne facilement avec des chargeuses à benne frontale, avec des pelles mécaniques et avec des convoyeurs à courroie. La capacité de fabrication de plaques en Alberta est d'environ 6 millions de t, mais une bonne partie de cette quantité est actuellement remplacée par la fabrication de granules et de soufre sous forme "perlée".

Au Canada, presque toute la production de granules ou de soufre sous forme "perlée" s'effectue selon quatre procédés (tableau 16). Deux d'entre eux utilisent de l'eau pour refroidir des jets de soufre en fusion, produisant des granules relativement grumeleux de dimensions très variées. Le produit est criblé et les granules trop gros ou trop petits sont renvoyés aux granulateurs pour y être liquéfiés et retraités. Ces procédés par voie humide, soit le système Fletcher et le système de P.V. Commodity Systems Ltd. nécessitent un investissement initial relativement peu élevé et peuvent être adaptés à presque n'importe quelle installation de traitement de gaz acide.

Le procédé de fabrication de soufre sous forme "perlée" mis au point par la société polonaise Ciech, utilise de l'air, insufflé dans des tours pour refroidir des jets de soufre en fusion, arrivant à contre-courant, et pour produire des particules sphériques de dimension assez uniforme. Le granulateur de la Procor Limited utilise un tambour rotatif dans lequel le soufre en fusion est vaporisé sur des granules "semences" tombant en rideau et composées de fines recyclées après le criblage qui suit la granulation. Ces "procédés par voie sèche" nécessitent un investissement initial élevé et conviennent aux applications de grande envergure.

Le procédé Fletcher est utilisé dans trois sites en Colombie-Britannique et un circuit est en construction dans un quatrième endroit (tableau 16). La P.V. Commodity Systems Ltd. exploite un granulateur, conçu par elle, à Strachan (Alberta) et envisage de construire une autre usine située dans un emplacement central en Alberta.

La granulateur Procor GX sert dans quatre endroits en Alberta. Des unités de fabrication de soufre sous forme "perlée" fonctionnent dans quatre usines de traitement de gaz et une cinquième unité est en construction.

Minerais métalliques sulfurés

Au Canada, le traitement des minerais métalliques sulfurés, pour leur teneur en soufre, remonte à 1866. Au début, le procédé consistait essentiellement à griller de la pyrite pour la fabrication directe d'acide sulfurique. Dans les années 20, l'utilisation des gaz de fusion de métaux communs pour la fabrication d'un sous-produit, le H_2SO_4, a commencé près de Sudbury (Ontario) et à Trail (Colombie-Britannique). Pratiquement toute la production canadienne de soufre provenait des minerais métalliques sulfurés avant 1951, date de construction de la première usine de récupération de soufre à partir de gaz acide.

Gaz de fusion

Le gaz effluent, provenant de la fusion de minerais sulfurés, contient de 1 à 12 % de bioxyde de soufre (SO_2). La récupération de SO_2 comprend des procédés de lavage, de refroidissement et de concentration du gaz. Le SO_2 concentré est alors utilisé directement pour la fabrication de H_2SO_4

TABLEAU 16

Installations de mise en forme du soufre dans l'Ouest canadien

Lieu	Propriétaire	Exploitant	Système	Capacité (t/a)	Commentaires
Strachan (Alberta)	P.V. Commodity Systems Ltd.		P.V. Commodity	460 000	Le produit du procédé par voie humide est vendu par Petrosul International Ltd.
Fort Nelson (C.-B.)	British Columbia Petroleum Corporation (BCPC)	Procor Sulphur Services Division	Fletcher	100 000	
Prince Rupert (C.-B.)	Real International Marketing Ltd., Conseil des ports nationaux, Canadian Stevedoring Co. Ltd.		Fletcher	300 000	Le soufre liquide est livré par wagons-citernes conçus par la Sultran Ltd.
Fort St. John (C.-B.)	BCPC	Petrosul	Fletcher	150 000	Le produit est vendu par Petrosul.
Strachan (Alberta)	Ressources Gulf Canada Inc., Placer-Cego Petroleum Ltd., Amerada Minerals Corp. of Canada Ltd.		"perlée" polonaise	300 000	
Waterton (Alberta)	Shell Canada Limitée		"perlée" polonaise	1 000 000	
Ram River (Alberta)	L'Energie Canterra Ltée Shell Canada Limitée		"perlée" polonaise	1 000 000	
Kaybob (Alberta)	Hudson's Bay Oil and Gas Co.		"perlée" polonaise	500 000	
Harmattan (Alberta)	Procor Limited (Trans Union Corporation)		Procor GX	130 000	Le produit appartient à la Shell.
Waterton (Alberta)	Procor Limited		Procor GX	130 000	Le produit appartient à la Shell.
Windfall (Alberta)	Procor Limited		Procor GX	530 000	Le produit appartient à la Canterra.
Lynton (Alberta)	Procor Limited		Procor GX	280 000	Fondé sur les sables bitumineux, le produit appartient à la Sulmar Canada Ltd. et vendu par la The Delta Marketing Group.
Total, sous forme "perlée", boulettes, granules				4 880 000	
Total, sous forme "perlée" de fabrication de plaques				5 000 000	
Hanlan-Robb (Alberta)	Ressources Gulf Canada Inc.		"perlée" polonaise	300 000	En construction.
Pine River (C.-B.)	BCPC	Petrosul	Fletcher	250 000	En construction.

par le procédé de contact-acide. De même, 90 000 t/a (45 000 t d'équivalent de soufre) de SO_2 liquide sont produites pour utilisation comme agent de traitement dans une variété d'applications, essentiellement dans l'industrie des pâtes et papiers. Une certaine quantité de SO_2 est utilisée pour la fabrication d'oléum (acide sulfurique fumant, $H_2S_2O_7$).

Le plus grand complexe de fabrication de H_2SO_4 au Canada est celui de l'Inco Limitée à Copper Cliff (Ontario). La société exploite trois usines de fabrication d'acide dont la capacité annuelle combinée est de 900 000 t de H_2SO_4 à partir du gaz de SO_2 fourni par l'usine de récupération de minerai de fer de l'Inco Limitée. En outre, l'Inco possède une usine de fabrication du bioxyde de soufre liquide près de l'usine de fusion située à Copper Cliff. L'acide produit à Copper Cliff est expédié par train unitaire de 56 wagons sur une distance d'environ 760 km jusqu'à l'usine de fabrication d'engrais de la C-I-L Inc. située près de Sarnia (Ontario). La C-I-L expédie l'acide de Copper Cliff, de Falconbridge et de Timmins jusqu'à des dépôts situés à Niagara Falls (Ontario), à Sorel (Québec), à Chicago (Illinois), à Cleveland (Ohio), et à River Rouge (Michigan).

Des filiales de la société Mines Noranda Limitée produisent de l'acide à partir de gaz de fusion aux trois endroits suivants:

- l'usine de 245 000 t/a de la société Les Mines de Cuivre Gaspé, limitée, située à Murdochville (Québec);
- l'usine de 125 000 t/a de la Brunswick Mining and Smelting Corporation Limited, située à Belledune (Nouveau-Brunswick);
- l'installation de grillage de concentrés de zinc de la société Zinc Electrolytique du Canada Limitée, située à Valleyfield (Québec) d'une capacité de 120 000 t/a.

La capacité de fabrication d'acide sulfurique de la Cominco Ltée à Trail (Colombie-Britannique), à partir de son usine de fusion de plomb-zinc, a augmenté de 30% en 1975, passant ainsi à 430 000 t/a grâce au remplacement des anciennes unités par une seule usine. Un autre projet d'expansion est prévu pour le début des années 80. La capacité de production d'acide de l'usine de la société située à Kimberley est de 300 000 t/a. Une bonne partie de cette production est utilisée par la Cominco pour la fabrication d'engrais.

L'usine de zinc de la Kidd Creek Mines Ltd. située à Timmins (Ontario) a une capacité de production d'acide sulfurique de 190 000 t/a. En 1981, une usine de production d'acide rattachée à l'usine de fusion de cuivre a été mise en service, ce qui a porté la capacité à 410 000 t/a.

Les Mines Falconbridge Nickel Limitée (maintenant Falconbridge Limitée) ont mis en service en 1979 une usine de production d'acide de 285 000 t/a, en même temps que la nouvelle usine électrique de fusion. L'acide sulfurique produit est commercialisé par la C-I-L Inc.

La production d'acide sulfurique s'effectue aussi dans les usines qui brûlent du soufre élémentaire. La majeure partie de cette production provient des usines d'engrais de l'Ouest canadien: à Redwater, à Fort Saskatchewan, à Calgary et Medicine Hat (Alberta) et à Prince George (Colombie-Britannique). Les producteurs d'engrais de l'Est du Canada se placent au deuxième rang, ainsi que les industries chimiques et les industries de traitement du minerai d'uranium, d'ouest en est, à Rabbit Lake (Saskatchewan), à Transcona (Manitoba), à Port Maitland et Elmira (Ontario) et à Varennes, Beloeil, Valleyfield et Arvida (Québec).

Au total la capacité canadienne annuelle de production d'acide sulfurique de toutes sources s'élève à 5 millions de t.

Consommation

En 1982, la consommation apparente au Canada était d'environ 770 000 t de soufre élémentaire. En outre, 510 000 t d'équivalent de soufre de gaz de fusion ont été consommées au Canada, en 1980. Environ 1 million de t du total de 1,3 million de t consommées l'ont été sous forme d'acide sulfurique à un stade ou à un autre.

Le plus grand consommateur a été le secteur des produits chimiques industriels, dont les engrais phosphatés. Pour répondre aux besoins en acide sulfurique de ce secteur, il a fallu brûler quelque 275 000 t de soufre élémentaire, et près de 312 000 t d'équivalent de soufre ont été expédiées, sous forme d'acide, à partir des usines de production d'acide adjacentes aux usines de fusion de métaux non ferreux.

Le deuxième consommateur a été l'industrie des pâtes et papiers qui a absorbé environ 270 000 t de soufre élémentaire, environ 14 000 t d'équivalent de soufre sous forme de bioxyde de soufre et plus de 100 000 t d'équivalent de soufre sous forme d'acide sulfurique.

Le traitement du minerai d'uranium et la récupération d'autres métaux ont utilisé environ 105 000 t d'équivalent de soufre sous forme d'acide sulfurique. Parmi les autres industries utilisant des quantités importantes de soufre ou d'acide sulfurique figuraient le raffinage du pétrole, les plastiques, les produits en caoutchouc, les savons et la préparation des aliments.

ANNEXE II

PARAMÈTRES DE PRÉVISION

Production canadienne

Pour la prévision de la production de soufre à partir de gaz naturel acide, on a présumé que la demande intérieure de gaz naturel croîtrait au taux prévu par l'Office national de l'énergie en juin 1981. Les ventes à l'exportation seraient limitées par des permis d'exportation, mais n'atteindraient vraisemblablement pas les limites; un facteur pour les exportations a donc été déterminé pour chaque année et ajouté à la demande intérieure, ce qui a permis d'obtenir un chiffre illustrant la disponibilité du gaz. On a présumé que la proportion de gaz commercialisable par rapport au gaz brut se maintiendrait au niveau de 1975 à 1981. On a aussi présumé que la production de soufre à partir des puits existants continuerait à décliner au taux observé de 1973 à 1981. Quant à la proportion de gaz acide par rapport au gaz non sulfuré dans les nouveaux puits, on a présumé qu'elle serait semblable à la proportion de production de tous les puits en 1981. Comme l'illustre le tableau 5, avec ces hypothèses, le gaz acide dans les nouveaux puits représente la moitié de l'offre en 1989 et davantage par la suite; cependant, les taux de découverte de gaz non sulfuré, si elles sont suffisamment élevées, pourraient réduire de moitié la disponibilité de soufre à partir du nouveau gaz. Par conséquent, la dernière tranche de production de 1,5 million de t de soufre pour les années postérieures à 1987 est moins certaine que le niveau de base d'environ 5,5 millions de t/a.

La production de métaux a été inférieure à la capacité et la production d'acide sulfurique continuera à être liée à la production de cuivre, de plomb, de zinc et de nickel. Pour la prévision de l'acide sulfurique et du bioxyde de soufre provenant des usines de fusion de métaux non ferreux, on a tenu compte des prévisions du secteur de la politique minérale en ce qui concerne la production de métaux et des limites de la production d'acide sulfurique dans chaque usine de fusion.

Production américaine

On est arrivé à la récupération prévue de soufre provenant du raffinage du pétrole, du gaz naturel et des combustibles synthétiques par interpolation et extrapolation de la prévision faite par D.G. Rangnow de la Pace Company Consultants to Engineers, Inc., dans Sulphur 81. Le tableau 11 montre l'importance prédominante de ces sources pour l'offre de soufre dans les dix prochaines années.

Étant donné l'ampleur des forages d'exploration dans la zone de production selon le procédé Frasch, aux États-Unis, en vue de la recherche de gaz naturel, il est peu probable que de nouvelles réserves seront trouvées. Les réserves restantes s'élèvent à quelque 80 millions de t et le taux d'épuisement prévu indique que la production annuelle diminuera progressivement pour se stabiliser à environ 2 millions de t d'ici l'an 2000; à ce moment-là, les réserves seront effectivement réduites à des niveaux non rentables.

La récupération d'acide sulfurique dans les usines de fusion de métaux non ferreux suivra la production de métaux communs aux États-Unis. Il est peu probable qu'en fonction des réserves actuellement connues ce secteur accuse une croissance. On prévoit que la production globale commencera à accuser une faible chute vers le milieu ou vers la fin des années 80.

Le soufre des autres installations américaines existantes (classé en tant que pyrite, hydrogène sulfuré et bioxyde de soufre) n'augmentera vraisemblablement pas au-delà des 500 000 t d'équivalent de soufre enregistrées en 1979. Cependant, la grande inconnue est la récupération éventuelle d'acide sulfurique, d'acide sulfureux ou de bioxyde de soufre commercialisable à partir des centrales thermiques. Cette récupération dépendrait essentiellement de la réglementation et du prix local de l'acide sulfurique; celui-ci dépendra, à son tour, des prix du soufre. Compte tenu du marché actuel et des délais de démarrage nécessaires pour la conception du procédé le mieux adapté aux centrales thermiques particulières et à des charbons particuliers, la récupération de produits de soufre commercialisable par les services publics d'électricité a été estimée à moins de 100 000 t pour les six prochaines années. D'autre part, on a pris en considération le potentiel de croissance et la possibilité de prix élevés d'ici la fin de la décennie en présumant que cette source permettrait d'obtenir 3 millions de t/a d'ici l'an 2000 et en présumant une croissance proportionnelle de 1988 jusqu'à cette date.

Bilan du soufre

Si l'on considère ensemble la situation du Canada et celle des États-Unis, on peut faire une projection des exportations outre-mer et des variations des stocks. Le taux de prélèvement à même les stocks peut être calculé. Selon un scénario possible, les exportations outre-mer sont maintenues au niveau minimal de 7,15 millions de t/a après 1983, compte tenu d'une croissance élevée de la demande canadienne. Ce scénario indique que les stocks canadiens et américains disparaîtraient d'ici la fin de 1991. Cependant, si la faible croissance de la demande canadienne sert d'hypothèse, les exportations pourraient alors augmenter jusqu'au niveau de 8,15 millions de t en 1990, ou bien, les prélèvements à même les stocks seraient inférieurs. En fait, avec une croissance plus faible de la demande canadienne tandis que les exportations outre-mer sont maintenues à 7,15 millions de t, le Canada et les États-Unis conserveraient chacun, en 1991, des stocks d'environ 3 millions de t.